



**Paulino António Oliveira e Silva**  
Licenciado em Engenharia Química e Bioquímica

## **Estudo e Caracterização de Revestimentos Aplicados em Peças da Indústria Automóvel**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Telma Henriques, Responsável de Laboratório, Empresa Y  
Co-orientador: Professor Doutor Mário Eusébio, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria Madalena Alves Campos de Sousa  
Dionísio Andrade  
Arguente: Engenheiro Fernando Miguel Vidal Anacleto  
Vogal(ais): Mestre Telma Carina Santos Esteves Henriques



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março, 2017**



**Estudo e Caracterização de Revestimentos Aplicados em Peças da Indústria Automóvel.**

Copyright © Paulino António Oliveira e Silva, 2017

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## Agradecimentos

Embora este, trabalho seja, pela sua finalidade académica, um trabalho de valorização intelectual, há contributos de natureza diversa que não podem nem devem deixar de ser realçados. Por essa razão, desejo expressar algumas palavras.

Em primeiro lugar, agradeço ao professor orientador, Mário Eusébio, por todo o apoio prestado não só durante o tempo em que elaborei a dissertação, mas também pela disponibilidade demonstrada ao longo do meu percurso académico, pelos conhecimentos transmitidos e pela forma como trabalhámos.

Ao professor Rui Silva do CENIMAT por toda a ajuda prestada, apoio e dedicação demonstrado a um aluno que não pertencia ao seu departamento.

À minha orientadora, Telma Henriques, expresso os meus sinceros agradecimentos, pelo acolhimento no laboratório da Empresa Y, pelo carinho, apoio, simpatia e dedicação demonstrados, assim como agradeço a sua partilha de informação, que foi essencial na elaboração deste projeto.

À minha colega de laboratório Dina Berças, agradeço todos os bons momentos e a boa disposição que transmite a todos os que a rodeiam, agradeço também a paciência e todos os conhecimentos úteis que me transmitiu.

À empresa Empresa Y e aos Engenheiros Fernando Anacleto e Pedro Alves pela oportunidade da realização deste trabalho na empresa e por toda a cooperação ao longo destes meses.

Aos meus colegas na empresa Cláudia Gomes, Pedro Linares, Tiago Gomes por toda a simpatia, dedicação e por todos os conhecimentos que partilharam comigo. E mais recentemente à Patrícia Abrantes por toda a boa energia e alegria contagiante.

À toda a minha família e amigos agradeço o apoio incondicional e motivação que me transmitiram ao longo destes anos, sem o qual não teria sido possível atingir este objetivo. Em especial, a todos aqueles que, nos piores e melhores momentos souberam como me apoiar. Um grande agradecimento à Tia América pela grande ajuda prestada nesta reta final.

Por fim um agradecimento profundo e sincero às quatro pessoas que fazem com que todas as noites sem dormir e todos os sacrifícios valham a pena: os meus Pais, Alice e Paulino; o meu irmão Gregory e a minha mulher Jéssica, o meu grande suporte, incentivo e melhor amiga sem a qual nada disto teria sido possível. É a vocês os quatro que dedico este trabalho e o resto da minha vida!!!



## Resumo

No presente trabalho apresenta-se um caso de aplicação de ferramentas e metodologias da qualidade, com vista a identificar e encontrar soluções para as principais não conformidades do projeto *Projeto X* (entre elas a falta de aderência dos revestimentos).

Através da metodologia 8D que utiliza as ferramentas básicas da qualidade, entre as quais Diagramas de Pareto e Ishikawa, determinaram-se quais os defeitos mais frequentes e as respetivas causas-raiz. Após esta análise foram sugeridas soluções (ações corretivas), de entre as quais se podem destacar a criação de uma Check List para o controlo dos banhos da linha de pintura, a sensibilização do uso de luvas por parte dos operadores da zona de carga e a criação de uma Check List para a receção dos JIGS. De referir a importância do brainstorming ao longo de todo o processo, já que foi através destas sessões que foi possível encontrar as soluções para os problemas identificados.

Para além disto foi realizada uma análise e caracterização de duas bases diferentes que são utilizadas para revestir peças do mesmo projeto (Projeto X). O objetivo desta análise será tentar perceber o porque da falta de aderência do revestimento nas peças que são pintadas com a base *Tinta A*. Para isto foi realizado um estudo comparativo utilizando a base *Tinta B*, que não apresenta este tipo de problemas. Foram também testados três esquemas diferentes de tratamento do substrato de forma a testar a influência dos banhos e a influência do processo de flameado em ambas as bases.

A tensão superficial do substrato polimérico (poliamida 6 com 30% de fibra de vidro) foi determinada para ambas as bases e respetivos primários. Estes valores podem ser vistos na seguinte tabela:

Base e respetivos primários	Tensão superficial da PA6+30% FB ( $\gamma_{sv}$ )	
	Huh-Mason Correction(dyn/cm)	Zuidema-Waters Correction(dyn/cm)
<b>Tinta A</b>	24,04	24,22
<b>Tinta B</b>	22,95	23,12
<b>Tinta C(Primário da base Tinta A)</b>	22,66	22,98
<b>Tinta D(primário da base Tinta B)</b>	24,10	24,38

Foram realizados ensaios de caracterização de revestimento segundo a norma regente do projeto a GMW 14797 em amostras revestidas com as duas bases.

De forma a saber com rigor a espessura das amostras, estas foram observadas no SEM (Tinta B-66,2  $\mu\text{m}$ ; Tinta A-135,48  $\mu\text{m}$ ) e no microscópio ótico (Tinta B-68,4  $\mu\text{m}$ ; Tinta A-59,17  $\mu\text{m}$ ) após preparação metalográfica.

Por último foram realizados ensaios de FTIR e cromatografia gasosa com espetrometria de massa acoplada (GC-MS) com o intuito de tentar caracterizar a composição química das duas bases.

Palavras-Chave: Pareto, Ishikawa, Brainstorming, 8D, Tensão Superficial, FTIR.





## Abstract

In the present work we present an application case of quality tools and methodologies to identify and discover solutions to the main non conformities of the *Projeto X Project* (among them the lack of adhesion of the coatings).

Trough the 8D methodology that uses the basic quality tools, including *Pareto* and *Ishikawa* Diagrams, The most frequente defects and their root causes were determined. After this analysis, solutions (corrective actions) were suggested, among which we can highlight the creation of a Check List for the controls of the baths of the painting line, sensitize the operadores of the cargo zone for the importance of use of gloves and the creation of a Check List for the reception of JIGS. It is important to mention the importance of performing a brainstorming throughout the process, since it was through this sessions that it was possible to find solutions to the identified problems.

In addition, an analysis and characterization of two different bases, which are used to coat parts of the same project (Opel Moka), were performed. The objective of this analysis is to try to understand why the lack of adhesion of the coating in the pieces that are painted with the base Tinta A. For this purpose a comparative study was carried out using the base Tinta B, which does not show this type of problems. Three different substrate treatment schemes were also tested in order to test the influence of the baths and the influence of the flaming process on both cases.

The surface tension of the polymer substrate (polyamide 6+30%GF) was determined for both bases and respective primers. These values can be seen in the following table:

Base and respective primers	Surface tension of PA6+ 30% GF FB ( $\gamma_{sv}$ )	
	Huh-Mason Correction(dyn/cm)	Zuidema-Waters Correction(dyn/cm)
<b>Tinta A</b>	24,04	24,22
<b>Tinta B</b>	22,95	23,12
<b>Tinta C(Tinta A base primer)</b>	22,66	22,98
<b>Tinta D(Tinta B base primer)</b>	24,10	24,38

Coating characterization tests were performed according to the regulative standard of the project at GMW 14797 in samples coated with two bases.

In order to know accurately the thickness of the samples, they were observed in SEM (Tinta B-66,2  $\mu\text{m}$ ; Tinta A-135.48  $\mu\text{m}$ ) and optical microscope (Tinta B-68,4  $\mu\text{m}$ ; Tinta A-59.17  $\mu\text{m}$ ), after metallographic preparation.

Finally, FTIR and gas chromatography with coupled mass spectrometry tests were performed in order to characterize the chemical composition of the two bases.

Key words: Pareto , Ishikawa, Brainstorming, 8D, Surface Tension, FTIR



## Índice

Agradecimentos.....	v
Resumo .....	vii
Abstract.....	ix
Índice .....	xi
Índice de Figuras .....	xiii
Índice de Tabelas .....	xiv
Lista de Abreviaturas .....	xv
1. Enquadramento e Motivação do trabalho .....	1
2. Introdução.....	2
2.1. Garantia da qualidade e Ferramentas.....	2
2.1.1. As Seis Ferramentas Básicas da Qualidade .....	2
2.1.2. A Metodologia 8D .....	5
2.2. Polímeros.....	6
2.2.1. Poliamidas .....	8
2.2.2. Poliamida 6 reforçada com 30% de Fibra de Vidro .....	9
2.3. Aderência .....	10
2.4. Limpeza dos Substratos Poliméricos.....	10
2.5. Pré-tratamento de Substratos Poliméricos.....	12
2.6. Revestimento de Substratos Poliméricos.....	14
2.6.1. Esquema de pintura .....	15
2.6.2. Composição das tintas .....	16
2.7. Cura .....	18
2.8. Aplicação electrostática .....	20
2.9. Técnicas de análise e de caracterização de revestimentos.....	21
2.9.1. Microscopia eletrónica de varrimento (SEM) .....	21
2.9.2. Metalografia .....	21
2.9.3. Medidas de Ângulos de Contacto .....	22
2.9.4. Medidas da tensão superficial das Soluções - Método do Anel .....	22
2.9.5. Medidas da tensão superficial do substrato polimérico .....	23
2.9.6. Espectroscopia de Infravermelho por transformada de Fourier .....	23
2.9.7. Cromatografia Gasosa acoplada à espetrometria de massa.....	23
2.9.8. Caracterização dos revestimentos segundo as normas regentes.....	24
3. Metodologia, Materiais e Métodos .....	29
3.1. Resolução estruturada dos principais defeitos. ....	29
3.2. Caracterização dos Revestimentos .....	30
4. Análise dos resultados obtidos.....	37

4.1. Análise dos resultados obtidos na resolução estruturada dos defeitos encontrados .....	37
4.2. Análise dos resultados da caracterização dos revestimentos.....	46
5. Conclusões .....	57
6. Bibliografia .....	58
7. Anexos .....	61

## Índice de Figuras

Figura 1-Empresa Y (empresa de revestimentos) [3].	1
Figura 2-Exemplo de um Histograma [18].	3
Figura 3-Exemplo de um diagrama de Pareto.	3
Figura 4-Exemplo de um Diagrama de Ishikawa.	4
Figura 5-Exemplos de Substratos poliméricos.	6
Figura 6-Exemplo de uma reação de Condensação [15]].	7
Figura 7-Classificação dos polímeros sintéticos [37].	7
Figura 8-Arranjo molecular de um polímero semi-cristalino [16].	9
Figura 9-Equação da reação de polimerização da poliamida 6 [39].	9
Figura 10-Aderência mecânica.	10
Figura 11-Esquema do sistema de banhos da Empresa Y.	11
Figura 12-Esquema de banhos para os plásticos virgens.	12
Figura 13-Angulo de contato [35].	13
Figura 14-Flameado de um substrato plástico [10].	13
Figura 15-Esquema do tratamento corona [12].	14
Figura 16-Equipamento utilizado no tratamento por plasma [11].	14
Figura 17-Esquema de Pintura Multicamada.	15
Figura 18-Componentes de uma tinta.	16
Figura 19-Exemplo de uma curva de temperatura [9].	18
Figura 20-Processo de Irradiação de infravermelhos [7].	19
Figura 21-Estufa de cura continua por radiação de infravermelhos [7].	19
Figura 22-Estufa de cura (por convecção) estacionária [7].	20
Figura 23-Estufa de cura (por convecção) continua [7].	20
Figura 24-Equipamento utilizado na projeção electrostática.	21
Figura 25-Método utilizado na resolução estruturada dos defeitos.	29
Figura 26-Lixas e Polidora utilizadas na preparação metalográfica.	30
Figura 27-Microscópio ótico Leica DMI 5000 M.	31
Figura 28-SEM Zeiss DSM 962 utilizado na microscopia ótica.	31
Figura 29-Material utilizado na medição dos ângulos de contato.	31
Figura 30-Goniómetro KSV utilizado e perfil de uma gota.	32
Figura 31-Tensioméetro Sigma utilizado.	32
Figura 32-Equipamento utilizado e amostras analisadas.	33
Figura 33-Molde de aderência e fita adesiva utilizada.	33
Figura 34-Câmara de humidade Erichsen.	34
Figura 35-Gravilhómetro utilizado.	34
Figura 36-Gravilha de pedra G-699.	35
Figura 37-Câmara climática Binder.	36
Figura 38-Walter Steam Jet Tester LTA 1.	36
Figura 39-Elcometer 121/4 utilizado na medição de espessuras.	36
Figura 40-Fluxograma do processo para o projeto Projeto X.	37
Figura 41-Diagrama de Pareto da base Tinta B.	38
Figura 42-Diagrama de Pareto da base Tinta A.	38
Figura 43-Diagrama de Ishikawa para as Sujidades.	39
Figura 44-Diagrama de Ishikawa para a tonalidade.	39
Figura 45-Diagrama de Ishikawa para os riscos devidos a descarga.	40
Figura 46-Diagrama de Ishikawa para a falta de aderência do revestimento.	40
Figura 47-Relatório 8D para a implementação da Check List dos banhos.	42
Figura 48-Imagem do SEM de uma zona de destacamento.	52
Figura 49-Espessura total da base Tinta A (SEM).	52
Figura 50-Imagem do Microscópio ótico da base Tinta A.	53
Figura 51-Espessura total da base Tinta B (SEM).	53
Figura 52-Imagem do Microscópio ótico da base Tinta B.	54
Figura 53-Cromatograma obtido para as duas bases.	54
Figura 54-Cromatograma dos intervalos dos 0 aos 5 minutos de tempo de retenção de ambas as tintas.	55
Figura 55-Espectros de FTIR das duas bases.	56
Figura 56-Curva de temperatura do forno do verniz.	56

## Índice de Tabelas

Tabela 1-Símbolos mais utilizados nos fluxogramas. ....	2
Tabela 2-Exemplo de uma tabela 5W2H. ....	5
Tabela 3-Efeito da fibra de vidro nas propriedades da poliamida 6. ....	9
Tabela 4-Exemplos de alguns aditivos e as suas respetivas funções. ....	17
Tabela 5-Ensaio Laboratoriais realizados na caracterização dos revestimentos. ....	24
Tabela 6-Espaçamento entre os cortes do molde de aderência [44,45]. ....	25
Tabela 7-Classificação consoante o destacamento na quadrícula [44]. ....	25
Tabela 8-Classificação para Primário e Base [46]. ....	26
Tabela 9-Classificação para Verniz [46]. ....	26
Tabela 10-Classificação utilizada (Diâmetro médio máximo dos impactos em mm) ....	26
Tabela 11-Número de ciclos dos métodos utilizados [49]. ....	27
Tabela 12-Classificação das alterações provocadas pelos fluidos [50]. ....	27
Tabela 13-Esquema do ciclo A [52]. ....	27
Tabela 14-Esquemas utilizados na realização dos ensaios. ....	30
Tabela 15-Ragentes utilizados. ....	32
Tabela 16-Tabela 5W2H para o defeito das sujidades. ....	43
Tabela 17-Tabela 5W2H para o defeito dos riscos devidos à descarga. ....	43
Tabela 18-Tabela 5W2H para o defeito da tonalidade. ....	44
Tabela 19-tabela 5W2H para o defeito da falta de aderência do revestimento. ....	45
Tabela 20-Resultados dos ângulos de contato e tensão superficial das soluções. ....	46
Tabela 21-Resultados da tensão superficial da poliamida. ....	46
Tabela 22-Resultados da aderência pelo método da quadrícula. ....	47
Tabela 23-Resultados do Ensaio da cura. ....	47
Tabela 24-Resultados da resistência à Humidade e Condensação Constante. ....	48
Tabela 25-Resultados da Resistência à gravilha. ....	49
Tabela 26-Resultados da resistência à gasolina. ....	49
Tabela 27-Resultados da Resistência aos Químicos. ....	50
Tabela 28-Resultados do ciclo de Humidade Fria. ....	51
Tabela 29-Resultados da resistência ao Equipamento de Limpeza. ....	51
Tabela 30-Resultados do ensaio das espessuras por camada. ....	52

## Lista de Abreviaturas

PA6+30%FB	Poliamida 6 com reforço de 30% de fibra de Vidro;
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i> ;
MO	Microscópio ótico
GC	<i>Gas chromatography</i>
MS	<i>Mass Spectrometry</i>
CC	Empresa Y;
GMW	<i>General Motors Worlwide</i> ;





## 1. Enquadramento e Motivação do trabalho

Vivemos num mundo em que grande parte da economia esta ligada a uma diversidade de transportes, quer de pessoas, quer de mercadorias. O transporte rodoviário desempenha um papel crucial na nossa sociedade, sendo necessário garantir a qualidade dos veículos colocados no mercado. Alguns dos aspetos a ter em conta são a segurança e o valor estético gerado pelo revestimento dos componentes.

Sendo assim a qualidade é o que todos os clientes pretendem quando adquirem produtos ou serviços de uma determinada organização. É devido a este princípio que cada vez mais as empresas têm apostado nos seus processos de forma a adquirirem uma vantagem competitiva em relação á concorrência.

Na indústria dos revestimentos as margens de negócio são muito reduzidas pelo que é essencial a aplicação de estratégias de controlo e monitorização bem como à otimização do processo com a adoção de estratégias *Lean* e *Kaizen* no sentido de reduzir desperdícios e diminuir a variabilidade do processo e consequentemente a melhoria dos resultados operacionais das organizações [2,40].

A implementação destas metodologias deve ser complementada com ferramentas de resolução estruturada de problemas de forma a identificar e resolver as causas principais das não conformidades que levam a rejeição total ou parcial de lotes de produção.

A presente dissertação foi realizada em ambiente empresarial, na empresa Empresa Y, representada na figura 1, situada no Carregado, no departamento de engenharia, mais concretamente no laboratório, sob a orientação da Química Tecnológica Telma Henriques.



Figura 1-Empresa Y (empresa de revestimentos) [3].

No início deste estudo o projeto *Projeto X, pintado na linha 8 (pintura líquida)*, foi identificado como um dos mais problemáticos em termos de falta de aderência do revestimento, principalmente quando aplicado um esquema de pintura específico (base *Tinta A*).

Existiu assim a necessidade de compreender, identificar e encontrar soluções para as principais causas responsáveis pelas não conformidades e consequente rejeição de peças deste projeto. De forma a conseguir este objetivo foi utilizada a metodologia 8D, que utiliza as principais ferramentas da qualidade com o intuito de resolver de forma estruturada os problemas encontrados.

No caso em estudo foram caracterizadas peças de plástico virgem mais concretamente de poliamida 6 com reforço de 30% de fibra de vidro (PA 6 + GF30), recorrendo a ensaios laboratoriais, de acordo com os requisitos do cliente bem como da normalização vigente na empresa.

Para uma caracterização mais detalhadas das bases em estudo foram utilizadas técnicas como a Metalografia, Espectroscopia de Infravermelhos por Transformada de Fourier (FTIR), Cromatografia Gasosa com Espectrometria de Massa acoplada, Microscopia Ótica (MO) e Eletrónica de Varrimento (SEM).

## 2. Introdução

A crescente globalização tem tornado as organizações cada vez mais competitivas pela liderança dos mercados. Uma das formas de atingir estes objetivos é garantir a qualidade dos produtos e serviços, ou seja, os produtos e os serviços estarem em conformidade com as exigências dos clientes.

Internamente uma das estratégias que pode ser utilizada de forma a aumentar a margem de negócio é a redução da quantidade de produto não conforme. É neste ponto que a utilização das ferramentas da qualidade e a utilização de técnicas que permitam resolver os problemas de forma estruturada são de grande importância.

### 2.1. Garantia da qualidade e Ferramentas

A garantia da qualidade é parte fundamental e integrante das organizações, tendo como um dos principais objetivos a melhoria contínua dos processos e dos produtos, De forma a garantir que os todos os requisitos do cliente são cumpridos.

Para atingir este objetivo encontram-se disponíveis uma série de ferramentas da qualidade. No entanto este trabalho vai se focar nas seis ferramentas mais comuns: *Check List*, fluxogramas, histogramas, diagramas de *Pareto*, diagramas de *Ishikawa* e *brainstorming*. Também se irá focar o estudo numa metodologia amplamente utilizada na indústria para a resolução e prevenção de problemas: a metodologia 8D [16-22].

#### 2.1.1. As Seis Ferramentas Básicas da Qualidade

As seis ferramentas básicas da qualidade caracterizam-se por terem um elevado impacto visual e serem eficazes na resolução de uma grande parte dos problemas relacionados com a qualidade. Tem como base a recolha, ordenação e análise de informação.





As *Check List* (ou também denominadas listas de verificação) são usadas para confirmar que os procedimentos pré-estabelecidos estão a ser cumpridos e que desta forma o produto e ou processo cumpre os requisitos pretendidos.

Usualmente apresentam-se sob a forma de tabelas, usadas com o objetivo de facilitar a recolha, análise e tratamento dos dados que se pretendem estudar [16-22].

A ferramenta que tem por finalidade facilitar o entendimento da sequência de um processo é o fluxograma. Esta ferramenta permite a visualização de todas as operações bem como dos pontos de decisão.

Um fluxograma é uma imagem que se constrói através de símbolos, em que cada símbolo possui um significado, a sua junção e sequência representam as várias etapas do processo. Na tabela 1 podem observar-se os símbolos vulgarmente utilizados e os seus significados [16-22].

Tabela 1-Símbolos mais utilizados nos fluxogramas.

Símbolo	Significado
	Indica o início ou fim do processo
	Indica cada atividade que precisa ser executada
	Indica um ponto de tomada de decisão
	Indica a direção do fluxo

Outra ferramenta importante é o histograma, esta é a ferramenta mais utilizada para representar a distribuição de frequências de uma variável quantitativa. Pode ser relativa às frequências absolutas ou às frequências relativas.

A partir da forma do histograma é possível obter informação útil sobre a distribuição dos valores e as variações dos mesmos. Conhecer as variações é o que permite estabelecer o seu controlo e a sua melhoria. Por vezes não é viável (a nível de tempo e custos) controlar todos os produtos, devendo-se recorrer a amostragens. Quanto maior for a amostra, maior será o grau de confiança dos resultados. Na figura 2 podemos visualizar um exemplo deste tipo de gráficos [16-22].

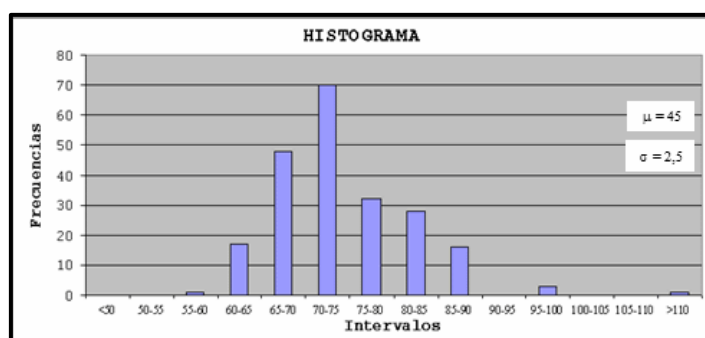


Figura 2-Exemplo de um Histograma [18].

A quarta ferramenta é o Diagrama de *Pareto*, esta ferramenta permite hierarquizar os dados, ordenando-os por ordem decrescente de frequência. Sendo por isso muito aplicada na análise e resolução de problemas. O princípio base deste diagrama é o de que um pequeno número de causas vitais (geralmente 20 %) é responsável pela maioria dos problemas (80%). Desta forma identificam-se facilmente os pontos chave aos quais se deve dedicar especial atenção, ou seja, que necessitam de ser submetidos a um estudo e implementação de ações que conduzam a sua redução ou eliminação [16-22].

A elaboração do diagrama consiste em ordenar as causas e ou problemas por frequência e de seguida traçar a curva de percentagem acumulada. Um exemplo deste diagrama pode ser observado na figura 3.

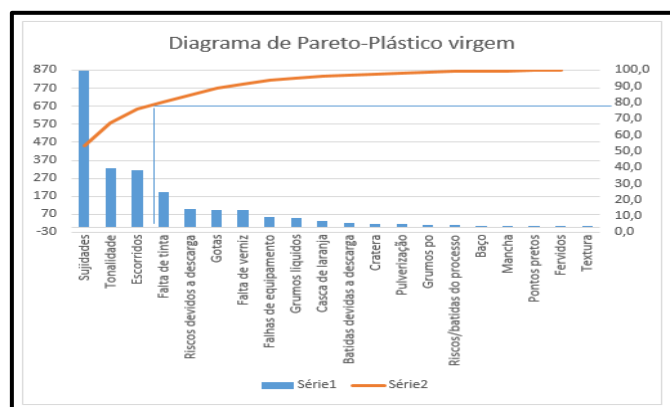


Figura 3-Exemplo de um diagrama de Pareto.

Após a identificação dos defeitos mais frequentes é necessário identificar as causas que os originam. Nesta situação recorre-se com frequência ao diagrama de *Ishikawa*. Esta ferramenta é denominada também de diagrama causa-efeito ou espinha de peixe devido a forma que apresenta [16-22].

A elaboração deste diagrama é normalmente precedida por uma sessão de brainstorming, que permite recolher o máximo de informação sobre o assunto analisado. Como se pode ver na figura 4 este diagrama permite estabelecer uma relação entre as causas e o efeito resultante. As causas são agrupadas por famílias que se podem ramificar em sub-causas de vários níveis. Esta ferramenta permite classificar as ideias do grupo, eliminar as redundâncias cumprindo assim com o objetivo de focalizar as causas dos problemas [16-22].

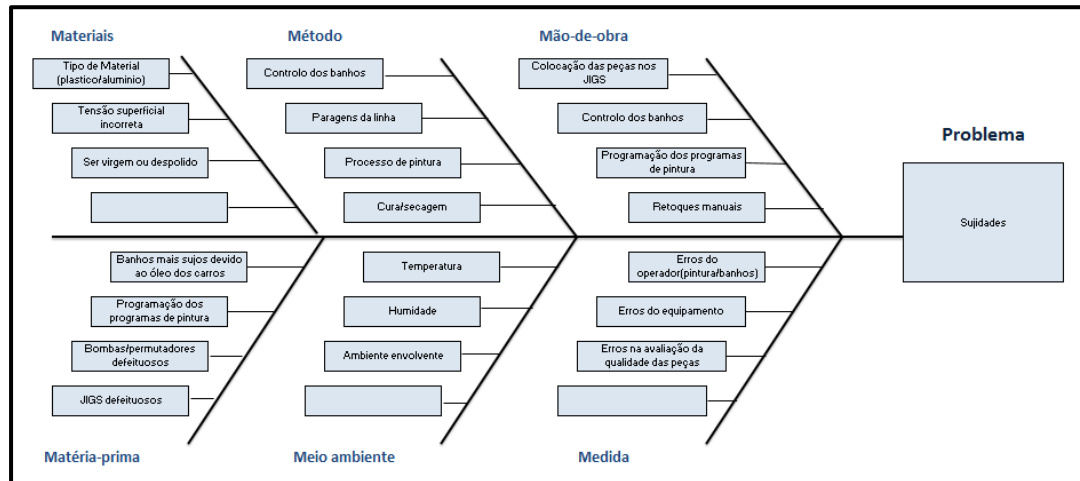


Figura 4-Exemplo de um Diagrama de Ishikawa.

A última ferramenta da qualidade abordada será o *brainstorming*. É uma das técnicas mais importantes no trabalho de equipa, permite gerar um elevado número de ideias num curto espaço de tempo [29].

A técnica visa estimular a criatividade do grupo e permitir a participação de todos, para isso obedece a determinadas regras, como por exemplo [29]:

- Devem ser geradas um número máximo de ideias possíveis;
- Durante o levantamento de ideias não há discussão nem crítica, pois isso pode inibir a apresentação de outras ideias;
- Apenas uma ideia de cada vez;
- O absurdo é permitido;
- Todos os membros do grupo devem participar;
- Devem ser registadas todas as ideias;
- É permitidos construir uma ideia a partir de outra;
- Manter o grupo empenhado

Depois desta fase de levantamento de ideias, passa-se a discussão e ao agrupamento conforme a sua natureza. As ideias redundantes são eliminadas, e as restantes ordenadas segundo a votação do grupo [26].

O sucesso de uma sessão de brainstorming depende, em grande parte de uma boa preparação. O objetivo deve estar bem definido e a seleção dos participantes deve ser feita de forma adequada. Deve ser escolhido um grupo multidisciplinar, já que a diversidade de conhecimentos potencializa a geração de ideias. Todos devem ter algum tipo de conhecimento sobre o assunto em questão e o tamanho do grupo não deve ser inferior a cinco nem superior a 7, de forma a permitir uma diversidade de opiniões mas não sobrecarregar o moderador da sessão nem causar ruído a boas ideias que possam surgir [26].

Ao longo das sessões de brainstorming é muito usual utilizar-se a ferramenta 5W2H, que surgiu inicialmente como uma ferramenta de gestão na elaboração de projetos [27-29].

A expressão 5W2H é uma referência as questões da língua inglesa. Os 5W referem-se ao *What*(o que)?, *When*(quando)?, *Who*(quem)?, *Where*(onde)?, e *why*(por que)?, enquanto que os 2H significam *How*(como)?, e *How much*(quanto custa)?. Estas questões devem ser colocadas aos participantes e a respetiva tabela deve ser preenchida ao longo da sessão. A tabela 2 é um exemplo deste tipo de tabela [27].

Tabela 2-Exemplo de uma tabela 5W2H.

5W					2H	
<i>What?</i>	<i>Why?</i>	<i>Who?</i>	<i>Where?</i>	<i>When?</i>	<i>How?</i>	<i>How much?</i>
<b>Problema</b>	Motivo	Responsável	Local	Prazo	Procedimentos	Custo

### 2.1.2. A Metodologia 8D

A metodologia 8D é introduzida em 1987 no manual TOPS (*Team Orientated Problem Solving*) concebido pela *Ford*. Este método caracteriza-se por ter uma abordagem formal, rápida e meticulosa na resolução de problemas, onde a sinergia das pessoas envolvidas é valorizada. Consiste em 8 passos que têm como objetivo a identificação, correção e eliminação das “não conformidades”, procurando a causa raiz das suas origens. Define ações corretivas imediatas, de forma a eliminar o problema e fazer com que este não volte a reincidir. É ainda avaliado o impacto ao nível de custos, tempo, efeito no cliente e na organização [30,31].

A metodologia 8D divide-se em 8 passos:

- **D1 – Formar uma equipa**

O primeiro passo é estabelecer uma equipa constituída por pessoas com conhecimento, tempo e capacidades para resolver o problema e implementar ações corretivas. O grupo deverá escolher um líder.

- **D2 – Descrever o problema**

Nesta etapa tem-se como objetivo a descrição do problema de forma detalhada, isto é, compreender o problema sob diversos aspetos como por exemplo o quê, quando e onde ocorre. Sempre que possível deve ser quantificado em relação a sua frequência.

- **D3 – Implementar ações corretivas**

Neste passo deverão ser definidas e implementadas ações imediatas de contenção que irão proteger o cliente até as ações permanentes serem implementadas. Deve-se verificar com recolha de dados a eficiência dessas ações.

- **D4 – Definir a causa raiz e analisar os seus impactos**

Neste passo devem ser identificadas as principais causas que podem explicar a origem do problema ocorrido, estas deverão ser testadas/validadas com a descrição do problema e os dados recolhidos. Por fim deve escolher-se a ou as ações que eliminem a causa raiz.

- **D5 – Escolher e verificar as ações corretivas**

Implementar a ou as ações corretivas e verificar se estas eliminam o problema através da eliminação da causa raiz e se não provocam efeitos colaterais indesejados. Se tal acontecer é necessário a definição de novas soluções.

- **D6 – Implementar e validar permanentemente ações corretivas**

Neste passo define-se e implementa-se as ações corretivas permanentes. Estas ações deverão ser monitorizadas para garantir a eliminação da causa raiz.

- **D7 – Prevenir a recorrência**

Após a resolução do problema, deseja-se que este e problemas similares não se repitam, para isso será necessário alterar especificações, formação e revisão de procedimentos de trabalho. Deve-se também verificar que as ações corretivas se mantem com o passar do tempo.

- **D8 – Congratular a equipa**

Os esforços coletivos da equipa na resolução do problema devem ser reconhecidos e felicitados. Além de merecida esta congratulação manterá a equipa motivada no futuro.

Os conhecimentos e aprendizagens adquiridos devem ser partilhados com toda a organização [30,31].

## 2.2. Polímeros

Os polímeros são macromoléculas formadas pela junção de uma ou mais moléculas através de ligações covalentes.

Conforme a sua origem, os polímeros podem ser naturais ou sintéticos. Os sintéticos possuem uma a três unidades que se repetem, enquanto os naturais como a celulose ou as proteínas apresentam estruturas muito mais complexas. Os polímeros sintéticos apresentam hoje em dia um maior interesse comercial [14-17]. Alguns exemplos de substratos poliméricos podem ser observados na figura 5.



*Figura 5-Exemplos de Substratos poliméricos.*

As moléculas que se combinam para dar forma aos polímeros denominam se de monómeros e as reações através das quais estes se formam tem o nome de reações de polimerização. Quando partimos de um só tipo de molécula estamos a falar de homopolimerização, quando são dois ou mais moléculas que se repetem na cadeia estamos a falar de copolimerização [14-17].

O comprimento de uma cadeia polimérica depende do número de unidades monoméricas presentes na molécula, ou seja o grau de polimerização (DP). A massa molar de um polímero é o produto da massa molar do monómero pelo grau de polimerização. A maioria dos polímeros industriais tem massa molar entre 10.000 e 1.000.000 g/mol [14-17].



As reações de polimerização agrupam-se em dois grandes grupos: reações de adição e de condensação, e os polímeros obtidos por estas duas vias são conhecidos por polímeros de adição e polímeros de condensação.

Na polimerização por adição, a macromolécula é formada pela junção de monómeros iguais, tendo que existir no mínimo uma ligação dupla de carbono. Durante o processo de polimerização ocorre a quebra desta ligação, dando origem a duas novas ligações simples. Grande parte dos polímeros produzidos industrialmente são feitos deste modo, como por exemplo o polietileno (PE) e o policloreto de vinil (PVC).

Na polimerização por condensação, o polímero é composto pela combinação de um ou mais monómeros distintos, ocorrendo ao longo da reação a eliminação de moléculas simples, geralmente de água, álcool ou ácido, um exemplo deste tipo de reação é a obtenção das poliamidas formadas a partir de diaminas e diácidos com a eliminação de uma molécula de água. Na figura 6 pode-se observar este tipo de reação [14-17].

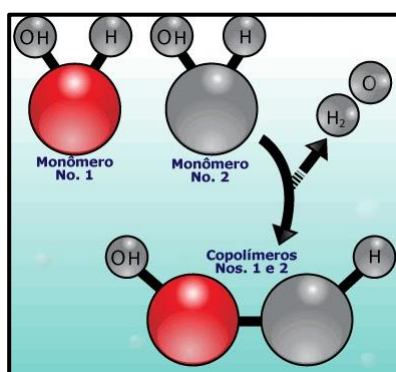


Figura 6-Exemplo de uma reação de Condensação [15].

Dependendo do modo como estão ligados química e estruturalmente, assim como da forma que reagem ao calor, os polímeros sintéticos podem ser divididos em três classes: termoplásticos, elastômeros e termoendurecíveis. Esta divisão pode ser vista na figura 7.

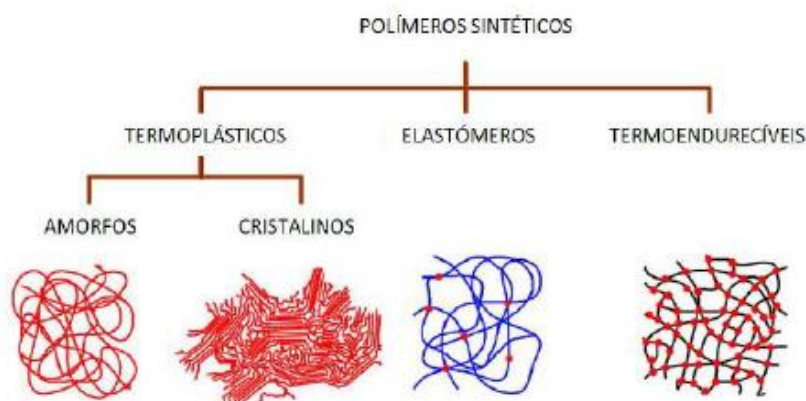


Figura 7-Classificação dos polímeros sintéticos [37]

Os termoplásticos constituem a maior parte dos polímeros comerciais. Este tipo de material pode ser fundido diversas vezes, sem que ocorra alteração significativa das suas propriedades. Este tipo de polímero quando exposto a temperaturas elevadas sofre preferencialmente alterações físicas em detrimento de alterações químicas, isto faz com que os termoplásticos possam ser reciclados, embora um número limitado de vezes, já existe alguma degradação du-

rante o processo de aquecimento. Os termoplásticos de engenharia devido as suas boas propriedades mecânicas são geralmente aplicados em substituição de componentes metálicos, por exemplo na indústria automóvel [32].

Os termoendurecíveis são rígidos e frágeis e uma vez aquecidos não podem voltar a ser fundidos após arrefecimento, já que este tipo de material degrada ao ser aquecido a temperaturas demasiado altas. Esta irreversibilidade implica que estas materiais não podem ser reciclados [32].

Os elastómeros, ou borrachas, são materiais poliméricos cujas dimensões podem variar bastante quando submetidos a tensões mecânicas e que voltam às dimensões iniciais quando se retira a tensão responsável pela deformação [32].

No âmbito deste trabalho, que tem por objetivo estudar problemas encontrados no revestimento de substratos poliméricos, tem interesse apenas o foco nos termoplásticos, mais concretamente das poliamidas.

### 2.2.1. Poliamidas

As poliamidas foram os primeiros materiais a serem reconhecidos como termoplásticos de engenharia, devido as suas boas propriedades mecânicas, especialmente em aplicações expostas ao calor e ao contato com solventes orgânicos. Estas propriedades permitem que estas sejam utilizadas em substituição dos materiais tradicionais que pareciam insubstituíveis como por exemplo os metais, sobretudo no sector automóvel, que tem seguido uma tendência de redução de peso dos veículos de forma a aumentar a segurança dos passageiros e reduzir o consumo de combustível, já que uma redução de 10% em massa de um veículo resulta na economia de 6 a 8% de combustível [32].

As poliamidas foram inicialmente sintetizadas por Wallace H. Carothers da empresa Dupont e a história do seu desenvolvimento foi dominado por aplicações na indústria têxtil.

A estrutura molecular desta classe de polímeros é caracterizada pela repetição de grupos funcionais amida (-CONH-) ao longo da cadeia, intercalados por sequências de grupos metilo (-CH<sub>2</sub>). Estes polímeros são denominados de poliamidas alifáticas, enquanto as que apresentam anéis de benzeno são poliamidas aromáticas [14-17]. As poliamidas podem ser classificadas em dois grupos: (a) polímeros produzidos a partir da reação de policondensação entre diaminas e ácidos dicarboxílicos e (b) polímeros produzidos a partir da policondensação de aminoácidos.

A nomenclatura mais usual das poliamidas apresenta números que indicam a quantidade de átomos de carbono presentes entre os grupos amida do polímero.

As poliamidas alifáticas são polímeros de estrutura linear que contêm os grupos amidas espaçados em intervalos regulares ao longo da cadeia, o que permite uma cristalização parcial com elevada atração intermolecular. As sequências metilo conferem flexibilidade molecular nas regiões amorfas do polímero. A combinação destas duas características resulta num material de alta tenacidade e ótimo desempenho mecânico de uma forma geral.

Devido a natureza das suas ligações secundárias, as poliamidas são materiais higroscópicos e o teor de humidade absorvido pelo material afeta significativamente as propriedades mecânicas, bem como as dimensões do produto, uma vez que ocorre inchamento do material após a absorção. A água exerce um efeito plastificante nas poliamidas, já que estas moléculas alojam-se entre as cadeias macromoleculares, reduzindo as forças de atração entre elas e aumentando a mobilidade molecular do polímero. Como consequência produz a redução da resistência à tração, compressão, flexão e do módulo de elasticidade [14-17].

As propriedades físicas e mecânicas das poliamidas são afetadas pelo grau de cristalinidade do polímero. O grau de cristalização é favorecido pela linearidade das cadeias, massa molar e força motriz induzida pelas ligações secundárias [14-17].



Na figura 8 está representado o arranjo molecular de um polímero semi-cristalino, como as poliamidas.

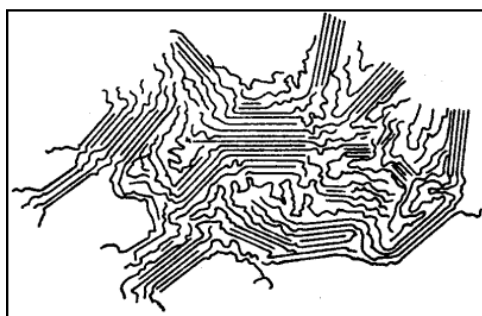


Figura 8-Arranjo molecular de um polímero semi-cristalino [16].

### 2.2.2. Poliamida 6 reforçada com 30% de Fibra de Vidro

A poliamida 6 é um polímero obtido a partir da  $\epsilon$ -caprolactama segundo a reação representada na figura 9.

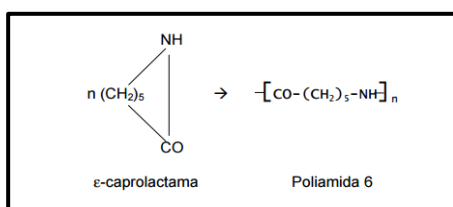


Figura 9-Equação da reação de polimerização da poliamida 6 [39].

Introduzida no mercado em 1929 pela empresa I.G Faberindustrie, este material foi inicialmente direcionado para a produção de fibras têxteis de forma a substituir a seda. Atualmente a poliamida 6 tem inúmeras aplicações, tais como plásticos de engenharia, fibras têxteis entre outros [39].

As propriedades marcantes deste polímero são a boa resistência mecânica a temperaturas superiores a 100 °C e boa tenacidade em temperaturas abaixo dos 0 °C. Apresenta também excelente resistência ao envelhecimento térmico, ótima resistência química, boa resistência à abrasão e ótima aparência superficial. Tais características habilitam este polímero para a fabricação de peças da indústria automóvel, como puxadores, espelhos retrovisores entre outros [32].

As fibras de vidro caracterizam-se por terem uma excelente resistência mecânica a temperaturas elevadas, sem apresentarem deterioração, possuem também boa resistência química e uma grande afinidade a matrizes poliméricas. Estas propriedades tornam as fibras de vidro elementos versáteis com a particularidade de permitirem um controlo da permeabilidade dos polímeros [38]. Algumas das alterações provocadas pelas fibras de vidro na poliamida 6 podem ser observadas na tabela 3.

Tabela 3-Efeito da fibra de vidro nas propriedades da poliamida 6.

Propriedades	PA6	PA6 30%FV
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,12-1,15	1,34-1,37
Alongamento (%)	50	1
Absorção de água (%)	1,2-1,4	0,7-0,9
Resistência à tração (MPa)	70-80	140

### 2.3. Aderência

Apesar das excelentes propriedades que um revestimento possa apresentar em termos de resistência climática, química, aos riscos ou impacto, este torna-se inútil se não aderir corretamente ao substrato a que esta a ser aplicado [43].

A aderência pode ser definida como o efeito das forças de atração na interface de duas fases sólidas diferentes que se aproximam [43]. Neste tipo de casos podemos falar em dois tipos de aderência: a química e a mecânica.

Na aderência química incluem-se as ligações primárias (iônicas ou covalentes) e secundárias (dipolos permanentes e dipolos induzidos).

A aderência mecânica visível na figura 10 ocorre quando o revestimento entra em contato com as cavidades (vazias e rugosas) do substrato. Este é um dos motivos que torna a preparação dos substratos um fator muito importante, já que aumenta a rugosidade do mesmo.



*Figura 10-Aderência mecânica.*

Devido a inúmeras causas externas que podem atuar por si só ou combinadas, as ligações entre o substrato e o revestimento podem ser colocadas sob tensão provocando a sua respetiva quebra e consequente falta de aderência do revestimento. Das causas responsáveis por esta falta de aderência vai ser focado o estudo da limpeza das peças (efeito dos banhos), espessura das diferentes camadas de revestimento aplicadas, tratamento do substrato de forma a aumentar a tensão superficial do mesmo e a cura do revestimento [42].

### 2.4. Limpeza dos Substratos Poliméricos

Um revestimento de boa qualidade, no que se refere a aderência só pode ser obtido se a superfície do substrato estiver limpa. Entre os tipos mais comuns de sujidades encontradas temos as poeiras atraídas para a superfície devido a presença de cargas electrostáticas, os desmoldantes, o suor e a gordura das mãos [4,5].

Para a remoção destas sujidades são utilizados alguns sistemas de limpeza, de entre os quais se podem destacar os mais comuns [4,5]:

- A limpeza com solventes, em que estes podem ser aplicados por imersão, pulverização ou sob a forma de vapor. Na escolha do solvente deve-se ter em conta o ataque químico a peça, podendo ocorrer amolecimento da mesma e ou fissuramento sob tensão.
- Os agentes de limpeza aquosos são formados por tensioativos cuja função é a de remover óleos e gorduras, mantendo-os separados na fase aquosa [4.5].

No caso da linha 8 de pintura líquida da Empresa Y é utilizado um sistema de banhos, pelos quais as peças passam de forma a remover todas as sujidades. A aplicação dos banhos

é feita num túnel por pulverização. Um esquema deste sistema de banhos pode ser observado na figura 11.

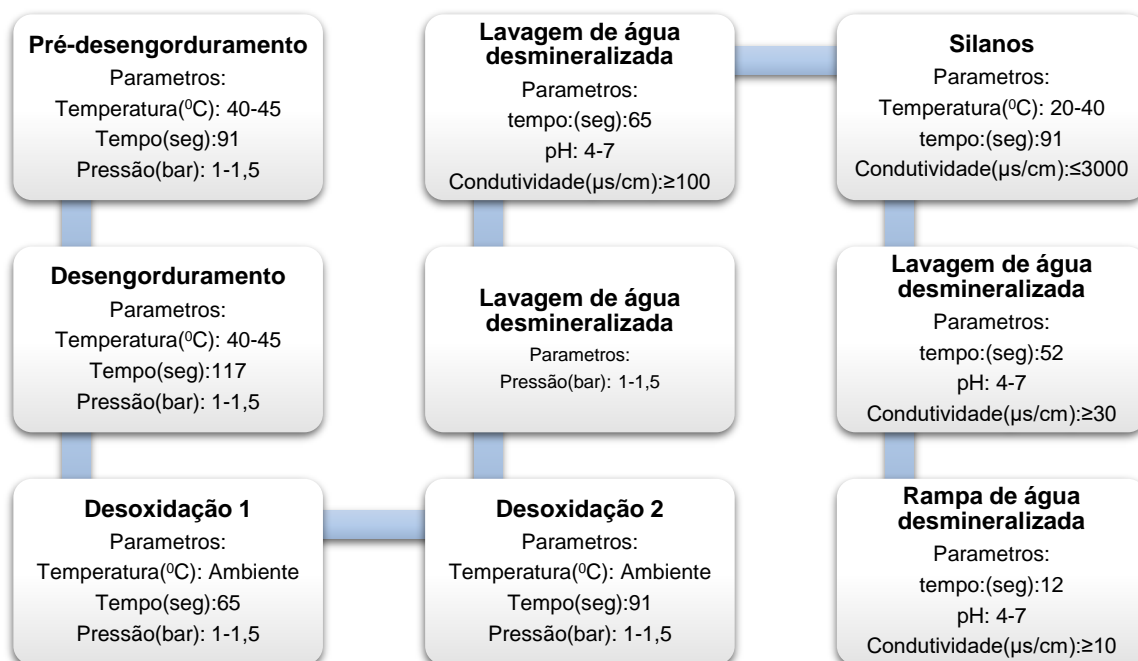


Figura 11-Esquema do sistema de banhos da Empresa Y.

O banho de pré-desengorduramento e desengorduramento têm como objetivo a remoção de sujidades como por exemplo gorduras e óleos. Os principais tipos de desengorduramento são: o desengorduramento alcalino e o ácido [40].

Os desengorduramentos alcalinos são constituídos por uma base mineral, que tem como principais constituintes os hidróxidos e carbonatos de sódio (para manter a alcalinidade), silicatos (para remoção de partículas) e complexantes. Possuem também surfactantes cuja tarefa é a remoção de contaminantes orgânicos, como os óleos.

Os desengorduramentos ácidos são geralmente constituídos por misturas de ácidos minerais (ácido sulfúrico e fosfórico), de agentes complexantes e surfactantes. Com este tipo de desengordurantes tem-se uma ação de limpeza dupla, uma vez que para além da eliminação de contaminantes ainda tem uma componente de desoxidação da superfície [40].

As lavagens de água desmineralizada têm como objetivo remover todos os produtos químicos e contaminantes que possam permanecer na superfície, e evitar assim a contaminação dos banhos seguintes [40].

A desoxidação é realizada com o intuito de promover a remoção de óxidos das superfícies metálicas e a ativação de qualquer tipo de superfície, ou seja, picar a superfície para que esta se torne uniformemente rugosa, facilitando assim a aderência do revestimento. Normalmente utilizam-se soluções de ácido clorídrico, sulfúrico ou fosfórico [40].

O banho de Silanos é um tratamento químico com compostos inorgânicos que tem como objetivo criar uma camada uniforme na superfície que se esta a tratar, esta camada de silanos melhora a aderência do revestimento, minimiza a propagação da corrosão sob a película, se o revestimento for cortado e melhora a resistência à corrosão do produto final. Este banho apenas é utilizado em substratos metálicos [40].

Neste trabalho apenas serão estudados os substratos plásticos virgens. Para este tipo de material o esquema de banhos a ser utilizado apresenta-se na figura 12. Os banhos a vermelho representam os banhos que estão desligados e os banhos a verde representam aqueles que têm de estar ligados durante a passagem deste tipo de material.

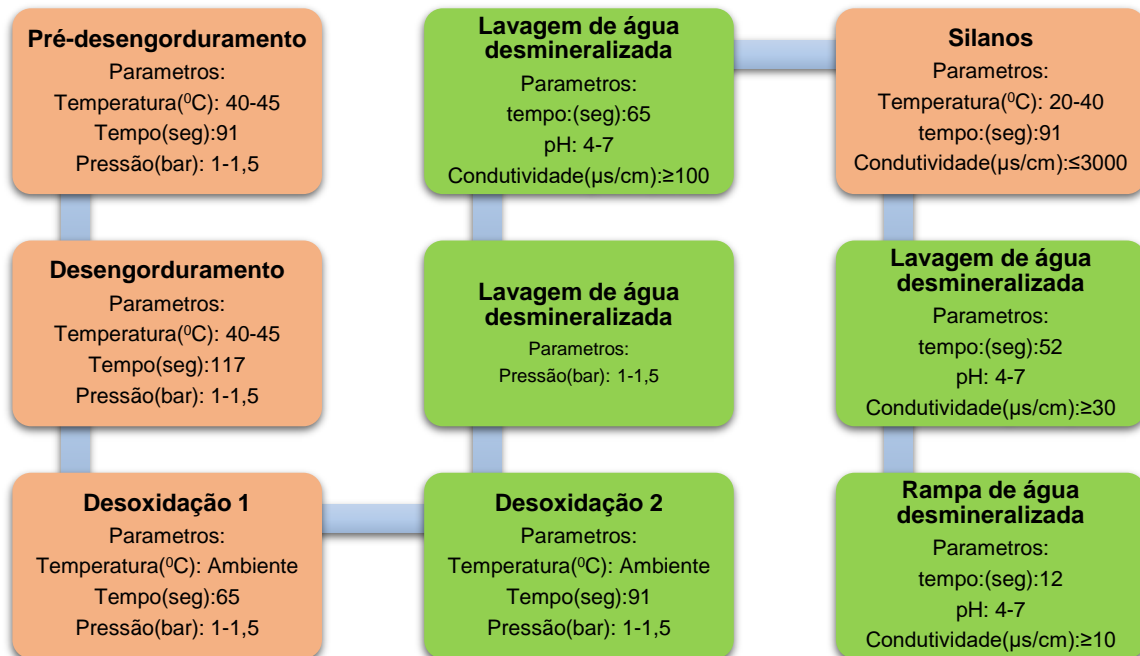


Figura 12-Esquema de banhos para os plásticos virgens.

## 2.5. Pré-tratamento de Substratos Poliméricos

De um modo geral, os substratos plásticos não apresentam as condições ideais para revestimentos tais como tintas. Isto ocorre porque eles possuem superfícies não porosas, quimicamente inertes e ou com baixa tensão superficial.

A tensão superficial de um líquido depositado numa superfície depende tanto das propriedades do próprio líquido, como das propriedades do meio com o qual o líquido está em contacto. As superfícies do líquido e do sólido com o qual o líquido está em contato formam entre si um ângulo designado por ângulo de contato. O valor deste ângulo depende da competição entre as forças de coesão líquido-líquido e as forças de adesão líquido-sólido. A boa molhabilidade de uma superfície é uma condição prévia para assegurar uma boa aderência de um filme, pois quanto menor for o ângulo de contato maior é a molhabilidade [33].

A tensão superficial é definida como sendo a força necessário para separar duas superfícies. A tensão superficial de um sólido pode ser determinada indiretamente, através das medidas dos ângulos de contato [34].

Um líquido molha o sólido quando a sua tensão superficial é mais fraca que a tensão superficial do sólido. Para ângulos de contato maiores que 0, a equação de Young descreve o equilíbrio entre a tensão superficial do sólido e do líquido.

Equação 1-Equação de Young.

$$\gamma_{lv} \cos \theta = \gamma_{sv} - \gamma_{sl}$$

Onde  $\theta$  é o ângulo de contato e  $\gamma_{lv}, \gamma_{sv}, \gamma_{sl}$  são as três energias livres da interface do vapor-líquido, sólido-vapor e sólido-líquido, respetivamente [34]. A figura 13 mostra como se obtém experimentalmente o ângulo de contato.

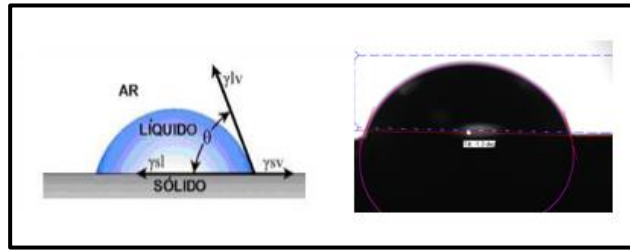


Figura 13-Ângulo de contato [35].

A tensão superficial de tintas líquidas situa-se no intervalo de 36 a 38 dyn/cm para tintas à base de solventes e de 40 a 45 dynes/cm para tintas à base de água [11,12].

Devido a isto, os substratos plásticos que não suportem estas tensões, são submetidos a um tratamento superficial, antes de passarem pelo processo de pintura, com o objetivo de modificar as suas superfícies e melhorar as suas características de aderência. Os tratamentos mais comuns são [11,12]:

- **Flameado**- Consiste na queima superficial do substrato, alterando desta forma a polaridade superficial tendo como efeito imediato o aumento da tensão superficial. Uma ilustração deste tratamento pode ser vista na figura 14.



Figura 14-Flameado de um substrato plástico [10].

- **Tratamento Corona** – Neste sistema, uma descarga elétrica é aplicada à superfície do material com o auxílio de um par de eletrodos, um com maior potencial e o outro, normalmente, o rolo que serve de suporte do material em tratamento, com menor potencial. O tratamento corona converte a superfície de um substrato não-polar em uma superfície polar. Isto ocorre porque as moléculas de oxigênio do ar presentes na área da descarga corona são ionizadas durante o tratamento e estão livres para se ligarem quimicamente às terminações das moléculas no substrato, resultando no aumento da tensão superficial. O tratamento corona é amplamente utilizado na indústria de conversão de substratos plásticos embora apresente problemas como falta de uniformidade, necessidade de alta voltagem para iniciar a descarga, o que resulta muitas vezes em tratamento também na face oposta do substrato, o que normalmente não é desejado. Um esquema deste tratamento pode ser visualizado na figura 15.

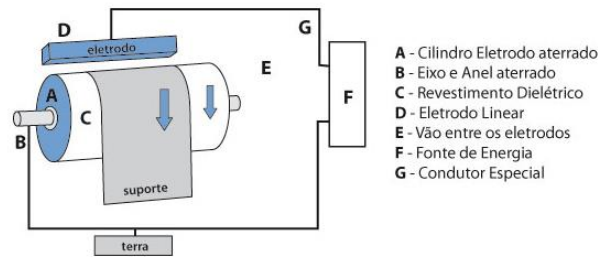


Figura 15-Esquema do tratamento corona [12].

- **Tratamento por Plasma-** Da mesma forma que o processo corona, o plasma é a ionização elétrica de um gás. No entanto, a descarga do plasma gera uma nuvem uniforme de gás ionizado sem a presença de descargas elétricas visíveis, como ocorre com o tratamento corona. Isto ocorre porque o plasma é gerado com níveis de voltagem menores do que aqueles usados no processo corona. Por este motivo, o tratamento por plasma evita o problema de tratamento na face oposta do substrato, uma das maiores desvantagens do tratamento corona.

O tratamento por plasma também torna a superfície do substrato polar, uma vez que as moléculas de oxigênio ionizadas ligam-se quimicamente às terminações das moléculas do substrato em tratamento. A velocidade com que o bombardeamento de elétron ocorre é até 100 vezes superior. Como resultado tem-se uma maior erosão da superfície do substrato e ligações mais fortes ao longo do seu comprimento. Uma imagem do equipamento utilizado neste processo pode ser vista na figura 16.



Figura 16-Equipamento utilizado no tratamento por plasma [11].

## 2.6. Revestimento de Substratos Poliméricos

Os substratos poliméricos que são utilizados na indústria automóvel necessitam de algumas propriedades, tais como:

- Resistência ao ataque de produtos químicos;
- Resistência a intempéries e raios Ultra Violeta;
- Resistência a abrasão;
- Resistência ao impacto
- Bom especto visual;
- Resistência térmica;
- Resistência a corrosão;

Estas propriedades podem ser obtidas através do revestimento das peças, porém a sensibilidade a solventes, a resistência ao calor e os diversos níveis de tensão superficial são fatores que influenciam o revestimento destes substratos.

A escolha do esquema de pintura deve levar em consideração alguns fatores, tais como [3]:

- A tensão superficial quando baixa ou nula requer tratamento superficial prévio;
- O solvente utilizado deve atacar o substrato apenas superficialmente para se conseguir a aderência da tinta, pois a extensão do ataque pode comprometer seriamente a estrutura do material, prejudicando sensivelmente as suas propriedades mecânicas, principalmente a resistência ao impacto;
- Deve-se ter em conta que a maioria dos polímeros contém aditivos que podem vir a migrar para a superfície, prejudicando muito a aderência da tinta;
- Condições ambientais em que o produto final ficará exposto;
- Solicitações mecânicas da peça (escolha entre sistemas de tinta flexíveis ou rígidos);

#### 2.6.1. Esquema de pintura

Os revestimentos não estão isentos de poros e devido a isto a proteção do substrato não pode ser assegurada com uma só camada, logo tintas com diferentes composições e funções devem ser aplicadas em sucessão dando origem a um esquema de pintura multicamada, que tem como objetivo proteger e acrescentar valor estético ao substrato. Neste trabalho o esquema utilizado está representado na figura 17 [3].

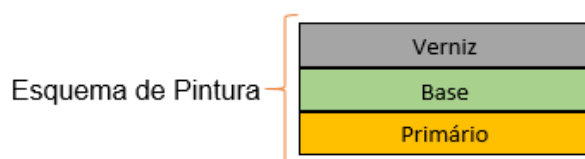


Figura 17-Esquema de Pintura Multicamada.

##### Primário

É a primeira camada aplicada numa superfície e atua como a base do esquema, deve originar uma superfície lisa adequada a receber as outras camadas.

Tem como principais objetivos resistir aos danos mecânicos, garantir a aderência ao substrato e as outras camadas e contribuir para o valor estético do esquema de pintura [3].

##### Base

É aplicada sobre a superfície do primário e é coberta pela camada de verniz, tem como objetivo tornar a superfície uniforme, eliminar defeitos de pintura e dar cor [3].

##### Verniz

A última camada do esquema e o seu objetivo é dar uma boa aparência e ser a primeira linha de defesa contra as ameaças ambientais, este tem de ser resistente as agressões mecânicas, as influências dos solventes, aos agentes químicos e as condições climáticas [3].



### 2.6.2. Composição das tintas

As tintas podem ser definidas como o produto de pintura pigmentado, líquido, em pasta ou em pó, que quando aplicado num substrato, forma uma película opaca dotada de propriedades protetoras, decorativas ou específicas e funcionais [3,5]. Na indústria automóvel têm várias funções: dar cor (melhorar o aspeto visual), proteger e retardar o envelhecimento.

Estas são uma dispersão de vários constituintes, resinas (40-50%), que é a porção não volátil, solventes (15-25%), que é a porção que se evapora quando a tinta é aplicada num substrato, pigmentos que fornecem cor, e cargas para o enchimento e o fornecimento de brilho ao revestimento [3,5].

Uma vez que a tinta é uma dispersão, existe muitas vezes a formação de um resíduo sólido no fundo das latas, devido a isto é necessária a agitação das tintas para garantir a homogeneidade da mistura. Na figura 18 podemos observar os componentes de uma tinta.

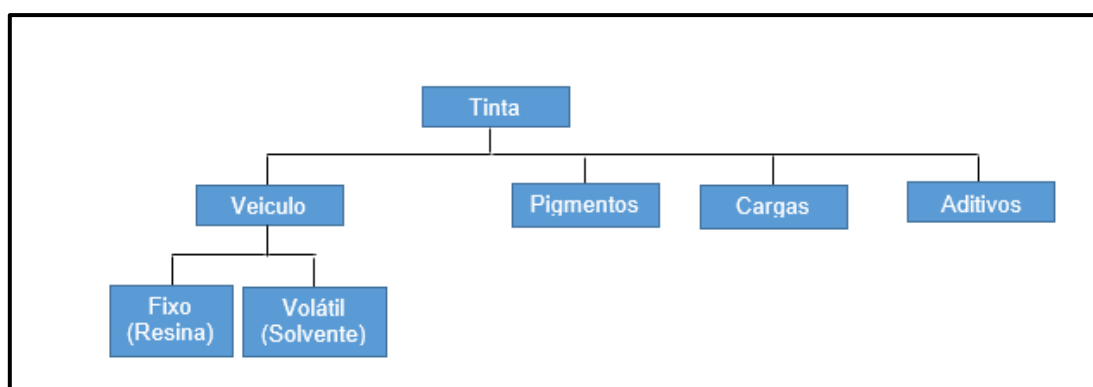


Figura 18-Componentes de uma tinta.

#### Resina

Também designado de ligante ou veículo fixo, é o principal responsável por manter a ligação entre as partículas sólidas da tinta. É o principal componente da tinta pois são as suas propriedades que vão ser determinantes no tipo de revestimento que se vai formar. Esta é solúvel em solventes orgânicos ou em água e é esta que confere certas características como a viscosidade, a aderência e brilho da película depois da secagem, promovendo a sua integridade ao longo do tempo [3,5].

#### Solvente

É utilizado para diminuir a viscosidade da tinta, fornecendo a consistência adequada de modo a permitir uma aplicação ao substrato mais eficiente. Tanto a resina como os pigmentos devem ser solúveis no solvente utilizado, mas este não deve reagir com os outros constituintes da tinta.

Nas tintas a base de solventes orgânicos são utilizados hidrocarbonetos (alifáticos ou aromáticos) álcoois e esteres que constituem um problema ambiental devido a emissão de compostos orgânicos voláteis (COV) [3,5].

As tintas a base de água utilizam esta como solvente, no entanto apresentam várias dificuldades a nível da preparação já que a solubilidade das resinas normalmente utilizadas como as epóxi, poliuretanos e acrílicos é superior nos solventes orgânicos que na água [3].



### Pigmentos

São os constituintes que proporcionam a cor, a opacidade e influencia propriedades como a durabilidade e a resistência a abrasão e corrosão.

Um bom pigmento deve possuir uma boa resistência à luz e aos agentes atmosféricos, para que as suas capacidades não sejam alteradas ao longo do tempo.

Estes existem como partículas sólidas finamente divididos, não devendo apresentar grande solubilidade na resina utilizada [3,5].

### Cargas

São compostos inorgânicos insolúveis na resina, cuja aplicação se deve maioritariamente a capacidade que tem de dar corpo a tinta, ao aumentar o seu volume a um preço reduzido. Estas também são importantes no brilho viscosidade, impermeabilidade a água e aos iões cloreto presentes na atmosfera [3,5].

### Aditivos

São materiais adicionados às tintas em pequenas quantidades com o objetivo de melhorar as propriedades da tinta e evitar a formação de defeitos. Alguns podem ser adicionados para promover a aderência, fornecer uma maior elasticidade (plastificantes), aumentar a velocidade de secagem (secantes) ou facilitar a separação dos diversos pigmentos (dispersantes) [3,5,6]. Na tabela 4 são mencionados alguns aditivos e as suas respectivas funções.

*Tabela 4-Exemplos de alguns aditivos e as suas respectivas funções.*

Aditivo	Função
Foto iniciadores	Formação de radicais livres quando submetidos à ação da radiação UV, iniciando assim o processo de cura por UV
Secantes	Catalisadores da secagem oxidativa das resinas alquídicas.
Inibidores de Corrosão	Conferem propriedades anticorrosivas ao revestimento.
Dispersantes	Melhoram a dispersão dos pigmentos na tinta.
Umectante	Nos sistemas aquosos aumentam a molhabilidade de cargas e pigmentos, facilitando a sua dispersão.
Bactericidas	Evitam a degradação do filme de tinta devido a ação de bactérias fungos e algas.
Coalescentes	Facilitam a formação de um filme contínuo na secagem das tintas de base aquosa.

A viscosidade é a resistência de um fluido ao escoamento, definida como a relação entre a tensão de corte e a taxa de deformação. No caso dos líquidos ideais, também designados de Newtonianos, esta razão é constante, isto é, a viscosidade é independente da taxa de deformação e da tensão de corte. Os fluidos que são dependentes desta taxa e tensão são os chamados fluidos não Newtonianos [43].

A viscosidade de aplicação das tintas tem um grande impacto na qualidade dos produtos pintados. Se a viscosidade for muito alta, podem ocorrer defeitos no revestimento, tais como ferveras (bolhas) e textura irregular. Se, por outro lado, a viscosidade for muito baixa, a tinta pode escorrer, não sendo possível a obtenção de uma espessura do revestimento uniforme. Assim para aplicações com alta exigência de qualidade, como é o caso das linhas de pintura da indústria automóvel é muito importante o controlo da viscosidade de aplicação das tintas [43].

## 2.7. Cura

O conceito de Cura pode ser caracterizado como um estado do material que adquire características permanentes, quando submetido às condições da aplicação a que se destina [7].

Para que um revestimento seja eficaz, este deve ser curado apropriadamente, se isto não acontecer o revestimento não será capaz de fornecer proteção nem de ter o tempo de vida esperado.

A maioria das resinas orgânicas é líquida, estas precisam de curar ou secar para formarem filmes sólidos. Estas resinas podem ser classificadas como:

- **Termoplásticas:** Não passam por nenhuma transformação química durante o processo de cura. Fundem-se de acordo com a temperatura de exposição e solidificam conforme vão arrefecendo. Apresentam certas características como baixa resistência aos solventes, alta temperatura de fusão e uma baixa aceitação de pigmentos.
- **Termoendurecíveis:** Estas apresentam reações químicas irreversíveis durante a cura, a resina funde e sofre reticulação, que é um processo que ocorre quando cadeias lineares ou ramificadas são interligadas por ligações covalentes (cross linking), dando origem a cadeias tridimensionais com alta massa molecular. Com o aumento da reticulação, a estrutura torna-se mais rígida.

Independentemente do tipo de resina utilizada, do tipo de aplicação, a tinta deve ser curada para atingir as melhores características físicas e químicas. As peças devem sair da cabine de aplicação diretamente para a estufa de forma a evitar problemas de contaminação.

A principal função de uma estufa é:

- Realizar a fusão das resinas da tinta;
- Efetuar a polimerização do sistema.

Para isto é indispensável que a temperatura da estufa seja regulada a fim de proporcionar uma curva de temperatura que se adapte a massa das peças e a velocidade do transportador, no caso de um sistema contínuo. Falhas de temperatura podem dar origem a falhas de aderência, diferenças de brilho entre outras [2,6]. Um exemplo de uma curva de temperatura pode ser visto na figura 19.

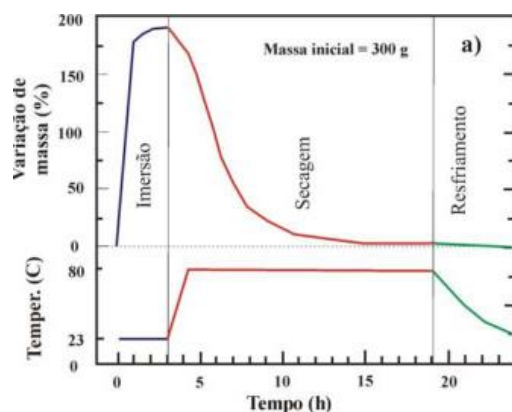


Figura 19-Exemplo de uma curva de temperatura [9].

As estufas podem ser classificadas conforme o seu sistema de aquecimento:

- Irradiação (Infravermelho);

- Convecção (circulação forçada de ar quente).

#### Cura por irradiação

Na cura por infravermelhos a energia da radiação emitida é a responsável pela cura da tinta. Parte desta energia é refletida pela superfície, outra é absorvida pelo polímero e outra parte é transmitida para o substrato. Este processo está ilustrado na figura 20.

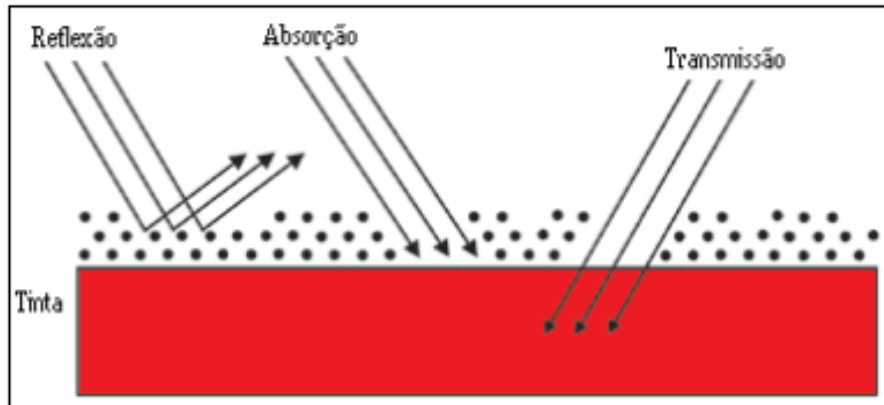


Figura 20-Processo de Irradiação de infravermelhos [7].

Este tipo de cura é utilizado na Indústria devido a rápida transferência de calor, ao simples controlo da temperatura e aos equipamentos compactos. No entanto alguns pontos críticos devem ser considerados na escolha deste processo tais como o custo da instalação, o consumo de energia e o formato das peças. Um exemplo deste tipo de estufa esta representado na figura 21.

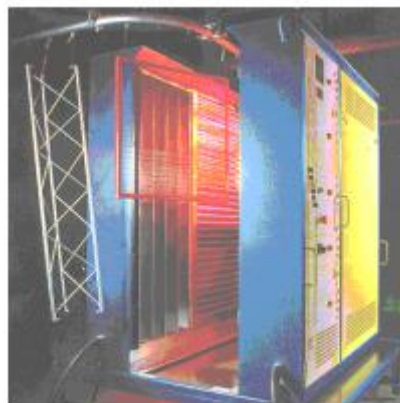


Figura 21-Estufa de cura contínua por radiação de infravermelhos [7].

#### Cura por convecção

Neste tipo de cura normalmente é utilizado gás natural como fonte de calor. Com auxílio de ventilação toda a estufa é aquecida por igual, mantendo-se assim a temperatura homogênea durante o ciclo completo de cura. O tempo de cura varia de tinta para tinta.

Para estufas estacionárias e contínuas, deve-se começar a contar o tempo de cura a partir do momento em que as peças atingem a temperatura especificada. O tempo deve ser regulado para que as peças permaneçam a esta temperatura o tempo suficiente.

As estufas estacionárias são fabricadas em chapas de aço galvanizado, formando um conjunto com isolamento de alta eficiência de forma a reter o calor e reduzir as trocas com o meio ambiente. As peças são introduzidas em carros transportadores e direcionados para o interior onde estes permanecem o tempo recomendado para a cura da tinta. Uma ilustração deste tipo de estufa pode ser visto na figura 22.



*Figura 22-Estufa de cura (por convecção) estacionária [7].*

As estufas contínuas possuem na sua estrutura interna painéis modulares com isolamento térmico, também possuem sistemas de distribuição de ar e cortinas de ar para retenção do ar quente na entrada e saída da estufa de forma a garantir a homogeneidade da temperatura interna da estufa.

O controlo da temperatura bem como da velocidade do transportador são realizados automaticamente. A velocidade do transportador deve ser muito bem controlada para que as peças permaneçam na estufa por um período de tempo suficiente, ou seja, o recomendado para a cura da tinta. A Figura 23 ilustra uma estufa contínua.



*Figura 23-Estufa de cura (por convecção) contínua [7].*

## **2.8. Aplicação electrostática**

A aplicação de tinta por projecção electrostática é a técnica utilizada na linha de pintura líquida da Empresa Y.

O princípio básico da projecção electrostática assenta na projecção da tinta, através de ar comprimido até a pistola, que fica eletricamente carregada. O movimento das partículas entre a pistola carregada e o substrato ao qual a tinta é aplicada é regida por uma combinação de

forças elétricas e mecânicas. As forças elétricas são o resultado da interação entre as partículas de tinta carregadas e o campo elétrico entre o substrato e a pistola. As forças mecânicas resultam do ar que projeta a tinta através da pistola. Assim, as partículas de tinta retêm a sua carga e aderem a peça.

Quando o campo elétrico é interrompido, devido ao afastamento da peça da pistola, as partículas carregadas continuam agarradas a superfície, atraídas pela carga de sinal oposto no substrato.

No caso das tintas líquidas a técnica utilizada é a projeção electrostática por atomização de elevada rotação.

Este tipo de aplicação é efetuado pelo uso de um atomizador com um disco em forma de sino, que tem um diâmetro de 60-10 mm e é mantido a uma voltagem de 40-90 KV em relação a superfície metálica ligada a terra que esta a ser pintada. A velocidade do disco é cerca de 20000-35000 rpm e a força aplicada ao revestimento faz com que as partículas de tinta líquida deixem a extremidade do disco como um spray atomizado [8]. Na figura 24 podemos observar o equipamento utilizado nesta técnica.



*Figura 24-Equipamento utilizado na projeção electrostática*

## **2.9. Técnicas de análise e de caracterização de revestimentos**

Das várias técnicas usadas para caracterizar revestimentos, vai ser feita neste capítulo, uma abordagem às usadas na parte experimental deste trabalho.

### **2.9.1. Microscopia eletrónica de varrimento (SEM)**

Esta técnica permite obter imagens de alta resolução da superfície da amostra a analisar por incidência de um feixe de eletrões dentro de uma camara de vácuo. A interação do feixe com a superfície da amostra provoca a emissão de eletrões que são detetados num detetor de alta resolução e a partir desse sinal é realizada a imagem superficial da amostra. A partir das imagens obtidas por SEM é possível retirar informação sobre a rugosidade, porosidade, espessura e diâmetro das partículas da amostra em causa. No mesmo equipamento é ainda possível efetuar uma análise espectroscópica de Energia Dispersiva (EDS) que é uma técnica analítica usada para determinar a composição química da amostra.

### **2.9.2. Metalografia**

Pode-se definir a metalografia como o estudo das características estruturais ou da constituição dos metais e das suas ligas, para relaciona-los com as suas propriedades físicas, químicas e mecânicas.

Para a realização deste estudo, o plano de interesse da amostra é cortado, lixado, polido e atacado com reagentes químicos, de modo a revelar as interfaces entre os diferentes constituintes.

Quanto ao tipo de observação esta pode ser dividida em duas classes:

- **Microscopia:** Análise feita utilizando um microscópio com aumentos que variam das 50X até as 2500X. Este tipo de microscópio possui um campo focal baixo, permitindo apenas a observação de superfícies perfeitamente polidas e planas. Devido a isto a preparação metalográfica tem grande importância na qualidade de uma análise, estes microscópios possuem sistemas de fotografias integrados, que permitem o registo fotográfico da amostra.
- **Macroscopia:** análise feita a olho nu, lupa ou de microscópios estéreos, que favorecem a profundidade de foco e dão, portanto, uma visão tridimensional da área observada, com aumentos que podem variar de 5X a 64X.

A preparação metalográfica pode ser dividida nas seguintes etapas:

- **Corte:** A amostra a ser analisada deve ser cortada de forma a não sofrer alterações pelo método de corte.
- **Embutimento:** O propósito do embutimento é de proteger os materiais frágeis ou revestidos durante a preparação, para além de facilitar o manuseio da amostra.
- **Lixamento:** São utilizadas lixas fixas em discos rotativos, sendo que todo o processo é feito sob refrigeração com água.
- **Polimento:** esta etapa é executada com panos especiais, colados a pratos giratórios, sobre os quais são depositadas pequenas quantidades de um agente abrasivo. Estes agentes variam conforme o tipo de material que está a ser preparado. Os mais comuns são o óxido de alumínio (alumina) e a pasta de diamante.
- **Ataque químico:** normalmente a amostra é imersa durante um período aproximado de 20 segundos, de forma a revelar a microestrutura. Um dos reagentes mais utilizados é o NITAL (ácido nítrico e álcool) que funciona para grande parte dos materiais.

### 2.9.3. Medidas de Ângulos de Contacto

A molhabilidade da superfície de todas as amostras foi avaliada por meio de medidas de ângulo de contato utilizando um goniómetro, todas as medidas foram realizadas a temperatura ambiente.

Sobre a superfície de cada amostra foi depositada uma gota, posteriormente é captada uma imagem dessa gota através de uma câmara digital e os ângulos de contato são medidos com recurso a um programa existente no equipamento, Este programa faz o ajuste do perfil da gota tendo em conta a equação de Young e traça uma tangente ao perfil da mesma, a partir do qual se determina o ângulo de contato entre o líquido e o substrato.

### 2.9.4. Medidas da tensão superficial das Soluções - Método do Anel

O método utilizado para determinar a tensão superficial das várias soluções foi o método do anel [23]. Neste método, mede-se a força necessária para remover um anel de platina, da superfície de uma solução. Para medir quantitativamente esta força foi utilizado um tensiómetro, que permite obter uma leitura direta da força aplicada sobre o anel em mN/m. O anel no momento em que é arrancado da superfície, arrasta consigo uma coluna de líquido, que se admite ser perfeitamente cilíndrica. Nesse instante, a força aplicada pelo tensiómetro está equilibrada com o peso da coluna de líquido.



### 2.9.5. Medidas da tensão superficial do substrato polimérico

A tensão superficial dos substratos poliméricos foi obtida através de uma técnica utilizada por Daniel Y.Kwok [34], este autor combina a equação de Young, que pode ser consultada na equação 1, com uma equação de estado que foi formulada para as tensões interfaciais sólido-líquido:

*Equação 2-Equação de estado [34].*

$$\gamma_{sl} = \gamma_{lv} + \gamma_{sv} - 2\sqrt{\gamma_{lv}\gamma_{sv}} e^{-\beta(\gamma_{lv}-\gamma_{sv})^2}$$

A combinação das duas equações permite a obtenção da equação que permite o cálculo da tensão superficial dos substratos poliméricos, onde  $\theta$  é o ângulo de contato e  $\gamma_{lv}, \gamma_{sv}$  são as tensões superficiais do líquido e do sólido respetivamente [34]:

*Equação 3-Equação que permite o cálculo da tensão superficial do substrato polimérico [34].*

$$\cos \theta_Y = -1 + 2\sqrt{\frac{\gamma_{sv}}{\gamma_{lv}}} e^{-\beta(\gamma_{lv}-\gamma_{sv})^2}$$

Sabendo que  $\beta$  é uma constante com o valor igual a  $0.0001247 \text{ (m}^2/\text{mJ)}^2$  e tendo os valores dos ângulos de contato e das tensões superficiais das soluções podemos chegar ao valor da Tensão superficial do Substrato polimérico, que neste caso é a poliamida 6 com 30% de fibra de vidro [34].

### 2.9.6. Espectroscopia de Infravermelho por transformada de Fourier

A técnica de FTIR foi utilizada para determinar quais os compostos presentes nas amostras.

Esta técnica permite obter espectros de absorção associados à vibração das ligações químicas dos constituintes das amostras. O princípio físico baseia-se na interação de um feixe de radiação eletromagnética com a amostra na região do infravermelho. Quando a frequência da radiação incidente se aproxima de uma das frequências da vibração de um determinado grupo molecular, a amostra absorve energia, o que origina um pico de absorção no espectro.

Tal possibilita identificar espécies, grupos funcionais e ligações entre os elementos que constituem o material. Existem vários tipos de vibrações possíveis (*stretching*, *bending*, *scissoring*, *rocking* entre outras) identificáveis através da frequência de vibração dada pelo número de onda característico, e desta forma é possível identificar qual o grupo funcional das moléculas da amostra [24,25].

### 2.9.7. Cromatografia Gasosa acoplada à espectrometria de massa

A combinação de um Cromatógrafo com o espectrómetro de massas junta as vantagens da cromatografia (alta seletividade e eficiência de separação) com as vantagens da espectrometria de massas (obtenção de informação estrutural, massa molar a aumento da seletividade) [54].

A cromatografia gasosa (GC) é uma técnica para separação e análise de misturas de substâncias voláteis. A amostra é vaporizada num fluxo de gás adequado denominado de fase móvel (FM) ou gás de arraste, específico para cada detetor. Este fluxo de gás com a amostra vaporizada passa por um tubo que contém a fase estacionária (FE), onde ocorre a separação da mistura. As substâncias separadas saem da coluna dissolvidas no gás de arraste e passam

por um detetor, que gera um sinal elétrico proporcional a quantidade do material eluído. O registo deste sinal em função do tempo é o cromatograma. Este tipo de cromatografia é aplicável para separação de misturas cujos constituintes tenham pontos de ebulição até 300 °C e que sejam termicamente estáveis [54].

Num sistema de cromatografia gasosa acoplado a espectrometria de massa, as amostras provenientes do Cromatógrafo a gás, no estado gasoso, são bombardeadas por eletrões que provocam a sua quebra dando origem a iões positivos e negativos. Estes iões são depois separados devido a diferença de massa e carga [54].

#### 2.9.8. Caracterização dos revestimentos segundo as normas regentes

A caracterização dos revestimentos é de extrema importância pois permite avaliar se o revestimento das amostras cumpre com os requisitos exigidos pelos clientes. Cada ensaio possui uma norma, na qual está detalhada toda a informação relativa aos procedimentos do ensaio, procedimentos estes que tem de ser seguidos meticulosamente, ou seja, todos os equipamentos, parâmetros e reagentes tem de ser iguais ao que estão descritos nas normas. A tabela 5 apresenta os ensaios laboratoriais realizados neste trabalho.

*Tabela 5-Ensaio Laboratoriais realizados na caracterização dos revestimentos.*

<b>Ensaio Laboratorial</b>	<b>Norma Regente</b>
Aderência pelo método da quadrícula	GMW 14829
Ensaio da Cura	GMW 15891
Resistência à Humidade e Condensação Constante	GMW 14729
Resistência à Gravelha	GMW 14700
Resistência à Gasolina	GMW 14333
Resistência aos Químicos	GMW 14701
Ciclo de Humidade	GMW 14829
Resistência ao Equipamento de Limpeza	GMW 14797
Espessura das Camadas	ISO 2808

Os ensaios de aderência pelo método da quadrícula, cura, resistência à gravelha, resistência à gasolina, resistência ao equipamento de limpeza e a espessura das camadas permitem ter uma noção imediata do comportamento do revestimento. Os ensaios de resistência à humidade e ciclo de humidade são ensaios de envelhecimento acelerado, ou seja, permitem ter uma ideia do comportamento que o material irá ter ao longo do tempo. Este tipo de ensaios não consegue igualar na perfeição o envelhecimento natural, uma vez que não são elaborados nas condições ideais e não refletem a multiplicidade de ambientes a que um revestimento pode estar sujeito, no entanto os resultados obtidos podem ser considerados como uma aproximação da realidade.

##### 2.9.8.1. Aderência pelo método da quadrícula

Este ensaio avalia a eficiência da aderência do revestimento ao substrato polimérico e a aderência entre as várias camadas que o constituem [44,45].

Este tipo de aderência pode ser definido como a tendência que o revestimento tem para destacar nas proximidades das linhas que formam as quadrículas.

Antes de se efetuar o ensaio convém ter uma noção da espessura do revestimento de modo a escolher o espaçamento correto no molde de aderência.

Na tabela 6 estão representados os espaçamentos existentes no molde e a respetiva espessura do revestimento.

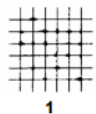
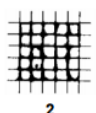
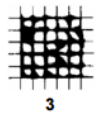
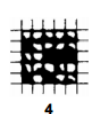


*Tabela 6-Espaçamento entre os cortes do molde de aderência [44,45].*

<b>Espessura do revestimento</b>	<b>Espaçamento entre os cortes da quadrícula</b>
<b>Menor que 60 <math>\mu\text{m}</math></b>	1 mm
<b>60-120 <math>\mu\text{m}</math></b>	2 mm
<b>Superior a 120 <math>\mu\text{m}</math></b>	3 mm

De acordo com os requisitos do projeto em estudo fornecidos pelo cliente através da norma GMW 14829, a especificação para este ensaio tem de ser no máximo 1. Este tipo de avaliação pode ser observado na tabela 7.

*Tabela 7-Classificação consoante o destacamento na quadrícula [44].*

<b>Classificação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Aspeto da quadrícula</b>
<b>0</b>	Nenhum dos quadrados da quadrícula se destacou	Nenhum
<b>1</b>	Destacamento do revestimento nas interseções das incisões que não afeta mais de 5% da quadrícula.	
<b>2</b>	O destacamento destacou-se ao longo dos bordos das interseções das incisões afetando nitidamente entre 5 a 15% da quadrícula.	
<b>3</b>	O destacamento destacou-se ao longo dos bordos das interseções das incisões, em parte ou na totalidade em faixas largas ou destacou-se em parte ou na totalidade em diversas zonas das quadrículas afetando entre 15 e 35% da quadrícula.	
<b>4</b>	O destacamento destacou-se ao longo dos bordos das interseções das incisões, em parte ou na totalidade em faixas largas ou destacou-se em parte ou na totalidade em diversas zonas das quadrículas afetando entre 35 e 65% da quadrícula.	
<b>5</b>	Destacamento acima dos 65%.	Acima dos 65%

#### 2.9.8.2. Ensaio da Cura (com solvente químico)

Este ensaio permite avaliar se a cura do revestimento foi adequada, através do uso de um solvente que é colocado numa amostra de gaze: neste caso o solvente usado para saturar a gaze foi o etanol. No caso de a cura do revestimento não ter sido a adequada, podemos verificar a coloração na amostra de gaze proveniente da peça testada [46]. A classificação das amostras será feita segundo a norma GMW 15981 e terá de ter no máximo um valor igual a 0. As classificações para os primários, bases e vernizes estão presentes nas tabelas 8 e 9.

Tabela 8-Classificação para Primário e Base [46].

Classificação	Superfície da pintura	Resíduos de pintura no algodão
0	Sem alteração.	Nenhum
1	Ligeira alteração: quase não observável.	Pequenos traços
3	Moderado: notável	Traços notáveis
5	Severo: muito óbvio, superfície pegajosa.	Saturado com cor

Tabela 9-Classificação para Verniz [46].

Classificação	Superfície com verniz
0	Sem alteração
1	Uma neblina pouco observável
3	Moderado: neblina moderada
5	Severo: Neblina muito óbvia

#### 2.9.8.3. Resistência à Humidade e Condensação Constante

O objetivo deste ensaio é observar o comportamento das peças revestidas e de qualquer defeito nelas existentes, quando submetidas a uma atmosfera de elevada humidade. Consiste na colocação das amostras numa câmara a uma temperatura de 40 °C e humidade relativa de 100%. Após o período de exposição à humidade é feito um ensaio de aderência pelo método da quadrícula em todas as amostras e uma avaliação do aparecimento de empolamentos [47].

#### 2.9.8.4. Resistência à gravilha

Este ensaio permite avaliar a resistência dos revestimentos à projeção de gravilha [48], avaliando o grau e as dimensões dos impactos apresentados nas peças testadas.

Foram realizados dois métodos da norma 14700 (métodos B e C). A avaliação deste ensaio foi realizada medindo os diâmetros médios dos impactos da gravilha projetada nas peças. De acordo com a norma a especificação para este ensaio tem de ser no mínimo igual a 9, esta classificação pode ser verificada pela tabela 10. O diâmetro médio dos impactos é calculado utilizando a equação 4.

*Equação 4- Equação para o cálculo médio dos impactos.*

$$\text{Diâmetro médio} = \frac{D1 + D2}{2}$$

Tabela 10-Classificação utilizada (Diâmetro médio máximo dos impactos em mm).

Modo de Falha	10	9+	9	8	7	6	Pobre
<b>Substrato</b>			1.0	1.0	1.5	2.0	>2.0
<b>Primário</b>	Sem marcas na superfície	Sem marcas na superfície	1.0	1.5	2.0	2.0	>2.0
<b>Base</b>			2.0	2.0	2.0	2.0	>2.0
<b>Verniz</b>			2.0	2.0	2.0	2.0	>2.0

## 2.9.8.5. Resistência à gasolina

O objetivo deste ensaio é determinar o efeito que os combustíveis podem ter no revestimento das peças exteriores dos automóveis. No caso em estudo será utilizado o método A da norma 14333-A, que consiste na imersão das amostras durante  $10 \pm 1$  segundos no combustível sendo retiradas e deixando-as secar durante  $20 \pm 1$  segundos, esta sequência corresponde a 1 ciclo. Este procedimento deve ser repetido durante o número de ciclos especificados. O número de ciclos específico para cada método pode ser visto na tabela 11. No final não pode existir nenhuma modificação no revestimento.

Tabela 11-Número de ciclos dos métodos utilizados [49].

Método	Número de Ciclos
A	10
B	1 Hora continua
C	Como especificado

## 2.9.8.6. Resistência aos Químicos

A resistência aos químicos é um ensaio essencial na avaliação nos revestimentos da indústria automóvel já que permite ter uma ideia dos comportamentos destes revestimentos quando sujeitos à presença dos químicos automotivos mais agressivos como os óleos, lubrificantes, líquidos de limpeza entre outros [51].

As amostras foram sujeitas a 5 fluidos diferentes: óleo de motor, fluido de limpa-para-brisas, fluido dos travões, glicol e anticongelante. Foram utilizados dois métodos diferentes da norma 14701 (método dois e três. A classificação das peças tem de ser igual a 10 com exceção do fluido dos travões cuja classificação pode ser igual a 4 [50]. Esta classificação pode ser observada na tabela 12.

Tabela 12-Classificação das alterações provocadas pelos fluidos [50].

Classificação	Alteração do revestimento
10	Sem alterações
8	Alteração ligeira
6	Alteração moderada
4	Alteração pronunciada
2	Alteração severa

## 2.9.8.7. Ciclo de Humidade Fria

Este ciclo é utilizado para avaliar o revestimento quando este é exposto a diferentes condições ambientais [52].

O ensaio foi realizado segundo a norma 14124 e foi utilizado o ciclo A, que tem de ser repetido 15 vezes e cujo esquema pode ser observado na tabela 13.

Tabela 13-Esquema do ciclo A [52].

Ambiente	Tempo (horas)
Temperatura ambiente	1
Camara de Humidade	20
$-30 \pm 2$ °C	3

A sequência da tabela 11 corresponde a 1 ciclo e caso o ensaio tenha de ser interrompido devido a fins-de-semana ou feriados, as amostras devem ser acondicionadas a  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Após os 15 ciclos estarem concluídos são feitos ensaios de aderência pelo método da quadrícula nas amostras, cuja classificação tem de ser no máximo igual a 1, classificação esta que pode ser vista na tabela 7.

#### 2.9.8.8. Resistência ao equipamento de limpeza

Este ensaio é utilizado para avaliar a aderência entre as camadas do revestimento e entre o revestimento e o substrato. Este método destina-se a simular as condições a que as peças são submetidas durante a lavagem a alta pressão dos automóveis. O ensaio foi feito segundo a norma 14797. Em cada amostra é feito um corte linear, esta zona é depois submetida a um jato de água quente durante  $35\pm 5$  segundos. O revestimento não pode sofrer qualquer alteração [47].

#### 2.9.8.9. Espessura das camadas

Este ensaio tem como objetivo confirmar se as espessuras das diferentes camadas que constituem o revestimento estão dentro das especificações do cliente, especificações estas que podem ser obtidas através da ficha técnica de cada uma das tintas (Anexo A).

### 3. Metodologia, Materiais e Métodos

A metodologia utilizada neste trabalho engloba dois pontos principais: a utilização das principais ferramentas da qualidade na elaboração de uma estratégia estruturada de forma a encontrar os principais defeitos do projeto Projeto X e as respectivas causas raiz.

O outro ponto está relacionado com a falta de aderência do revestimento nas peças deste projeto, quando estas são pintadas com a Base *Tinta A* (Vermelha).

Para tentar perceber qual poderia ser a causa desta falta de aderência foi feito um estudo em que amostras desta base foram caracterizadas simultaneamente com amostras da base *Tinta B* (Azul), uma vez que esta não apresenta os mesmos problemas de falta de aderência do revestimento.

#### 3.1. Resolução estruturada dos principais defeitos.

Para encontrar e resolver estruturadamente os principais defeitos deste projeto foi utilizada a metodologia 8D, metodologia esta que utiliza as principais ferramentas da qualidade para descobrir as causas raiz dos principais problemas das não conformidades bem como encontrar soluções para as mesmas, o método utilizado pode ser visto na figura 25.



Figura 25-Método utilizado na resolução estruturada dos defeitos.

##### 3.1.1. Fluxograma

De forma a facilitar a visualização das diversas etapas que compõem o processo de revestimento em questão foi desenhado o fluxograma deste projeto. Desta forma foi possível identificar os pontos que merecem um estudo mais aprofundado. Na elaboração deste mapa do processo foi necessário identificar os fornecedores, entradas e saídas do processo.

##### 3.1.2. Diagrama de Pareto

Recorrendo a base de dados da Empresa Y foi possível a recolha de dados da quantidade e tipo de defeitos existentes para este projeto. Com estes dados foi elaborado um diagrama de *Pareto*, que permitiu identificar os principais defeitos responsáveis pelas não conformidades. Para elaborar os diagramas foi necessário coletar e tratar os dados recolhidos, este tratamento dos dados pode ser visualizado no Anexo A.

##### 3.1.3. Brainstorming

Para as reuniões de Brainstorming foi criada uma equipa de trabalho multidisciplinar cuja constituição foi a seguinte: estagiário do laboratório, responsável do laboratório, técnica do laboratório, responsável da qualidade, Engenheiro de processo e Operador de banhos.

As sessões tiveram a duração de 30 minutos, sendo o principal foco o preenchimento dos diagramas de *Ishikawa*, as tabelas dos 5W2H e a discussão de soluções para a resolução dos problemas encontrados.

##### 3.1.4. Diagramas de Ishikawa

Este tipo de diagramas foi preenchido durante as sessões de brainstorming e o seu principal objetivo é identificar as causas raiz dos principais defeitos encontrados pelos diagramas de Pareto. Após a identificação das causas raiz estas foram hierarquizadas usando uma avaliação de 1 a 10, em que 1 representa uma causa com pouca importância e 10 uma causa

de extrema importância (Anexo B). De salientar também que as causas foram agrupadas conforme estivessem relacionadas com os materiais, métodos, mão-de-obra, máquinas, meio ambiente e medida.

### 3.1.5. Tabelas 5W2H

Após a identificação das causas raiz através dos diagramas de *Ishikawa*, foi necessário utilizar uma ferramenta que ajudasse a compilar esta informação e que permitisse encontrar as respetivas soluções. A ferramenta utilizada foi a tabela 5W2H, que foi preenchida pela equipa de trabalho nas sessões de brainstorming. A equipa para cada causa raiz teve de responder as 7 questões presentes neste tipo de tabela.

### 3.1.6. Relatório 8D

Com as possíveis soluções encontradas, foi elaborado pela equipa de trabalho um relatório 8D de forma a compilar toda a informação existente, as soluções encontradas e as possíveis implementações.

## 3.2. Caracterização dos Revestimentos

Com o objetivo de tentar perceber as diferenças existentes entre as peças que são pintadas com ambas as bases, foram realizados ensaios que permitiram caracterizar os revestimentos, o substrato polimérico (poliamida 6 reforçada com 30% de fibra de vidro) e as próprias bases.

De salientar que foram testados 3 esquemas de tratamento do substrato diferentes, de forma a estudar a influencia dos banhos e a influencia do pré-tratamento do substrato (flameado). Estes esquemas podem ser visualizados na tabela 14.

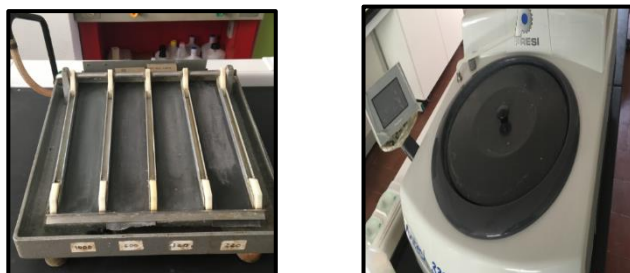
*Tabela 14-Esquemas utilizados na realização dos ensaios.*

Base		Tinta B e Tinta A	
Esquema	Sem passar nos banhos	Banhos sem flameado	Banhos com flameado

### 3.2.1. Microscopia Eletrónica de Varrimento (SEM) e Metalografia

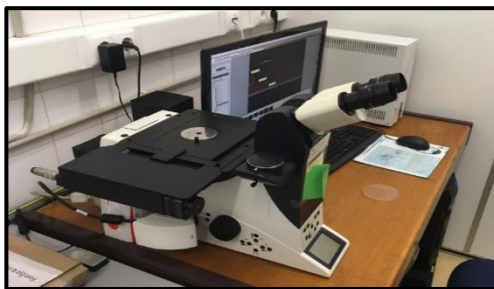
Ambos os ensaios foram realizados pelo professor Rui Silva do *CENIMAT* (departamento de Materiais).

Na preparação metalográfica foram utilizadas lixas de micragens variadas (de 220 ate 1000  $\mu\text{m}$ ) , uma polidora *Monteck 333*, pasta de diamante da marca *Diamix* para ajudar a polir as amostras. As lixas e a polidora utilizadas neste ensaio podem ser observadas na figura 26.



*Figura 26-Lixas e Polidora utilizadas na preparação metalográfica.*

Na figura 27 esta representada uma fotografia do microscópio *Leica DMI 5000 M* utilizado durante a observação microscópica das amostras metalográficas.



*Figura 27-Microscópio ótico Leica DMI 5000 M.*

A morfologia da superfície das amostras foi efetuada no microscópio eletrónico de varrimento-*Zeiss DSM 962*, equipamento este representado na figura 28.



*Figura 28-SEM Zeiss DSM 962 utilizado na microscopia ótica.*

### 3.2.2. Ângulos de contato

Os ângulos de contato foram medidos no laboratório do departamento de química da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Para a medição foi utilizado um goniómetro da marca KSV. Para além disto foi utilizada uma seringa B-Braun de 1 ml e uma agulha de aço inoxidável com ponta reta de 12.7 mm de comprimento e 0,84 mm de diâmetro interno, ambas podem ser visualizadas na figura 29.

Colocou-se 1 ml de cada solução nas seringas e colocou-se a seringa no goniómetro. Depois deixou-se cair gotas ao longo da peça e registou-se cada uma das gotas com a câmara que está acoplada no goniómetro, utilizando o *software* do equipamento foi possível medir os ângulos de contato. Foram realizadas 5 medições por solução. As soluções utilizadas podem ser consultadas na tabela 15.



*Figura 29-Material utilizado na medição dos ângulos de contato.*

Tabela 15-Reagentes utilizados.

Reagente	$\rho(\text{g/cm}^3)$
Água destilada	0,99707
Glicerol	1,258
Dietileno glicol	1,118
Etileno glicol	1,113
Tinta A	0,97
Tinta B	0,96

Uma imagem do goniómetro utilizado bem como o perfil de uma das gotas pode ser vista na figura 30.

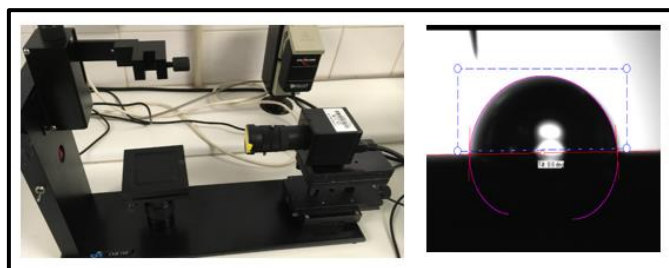


Figura 30-Goniómetro KSV utilizado e perfil de uma gota.

### 3.2.3. Tensão superficial das soluções

Para a medição da tensão superficial das soluções foi utilizado um Tensiómetro da marca Sigma, no qual foram colocados os reagentes da tabela 14, um de cada vez. O valor da tensão superficial foi retirado diretamente do Tensiómetro (duas tensões diferentes).

De salientar que ao trocar de fluido deve-se lavar muito bem o recipiente que é utilizado para a colocação dos reagentes assim como o anel, para que não existam contaminações que possam por em causa os resultados finais. O equipamento utilizado pode ser visualizado na figura 31.



Figura 31-Tensiómetro Sigma utilizado.

### 3.2.4. Tensão superficial do Substrato Polimérico

Para o cálculo da tensão superficial do substrato polimérico (poliamida 6 com reforço de 30% de vidro) foi utilizada a equação 3. Sabendo a tensão superficial das soluções e os ângulos de contato de cada uma das soluções foi possível utilizando a ferramenta solver do Excel calcular a tensão superficial da poliamida.



### 3.2.5. Espectroscopia de Infravermelho por transformada de Fourier

Este ensaio foi realizado num laboratório externo, no equipamento PerkinElmer modelo Spectrum Two.

### 3.2.6. Cromatografia gasosa com espetrometria de massa acoplada

Neste ensaio que foi realizado pela técnica superior Luz Fernandes do REQUIMTE (laboratório de análises) foi utilizado o Cromatógrafo GC Agilent 6890N com o espetrómetro MS Thermo DSQ acoplado.

Neste caso 10 ml de cada amostra foram introduzidos num vial para *headspace* de 20 ml de capacidade. Os vials foram agitados em *vortex* durante 30 segundos antes da amostragem. Com uma seringa de gases (*gas-tight*) foram retirados 50  $\mu$ l do espaço de cabeça (*head space*), seguindo-se a análise por cromatografia gasosa com espetrometria de massa acoplada. A imagem do equipamento utilizado bem como das duas amostras pode ser vista na figura 32.



Figura 32-Equipamento utilizado e amostras analisadas.

### 3.2.7. Ensaio da norma regente

Todas as peças do projeto Projeto X têm de cumprir os requisitos dados pela norma GMW 14797, norma esta que especifica certos ensaios que tem de ser feitos obrigatoriamente.

Todas as amostras tiveram um tempo de acondicionamento de 72 horas antes de qualquer ensaio ter sido realizado sobre as mesmas.

#### 3.2.7.1. Aderência pelo método da quadrícula

Este ensaio foi feito com base na norma GMW 14829, sendo necessário ter uma noção da espessura do revestimento de modo a escolher o espaçamento adequado no molde de aderência para a formação da quadrícula. Com o auxílio do x-ato e do molde visíveis na figura 33, fizeram-se seis cortes paralelos seguidos de mais seis cortes a sobrepor de forma a fazerem um angulo de 90º. Por último passou-se com a fita adesiva Scotch 8981 3M sobre a quadrícula uma vez na horizontal. A avaliação do resultado foi efetuada de acordo com a tabela 7.

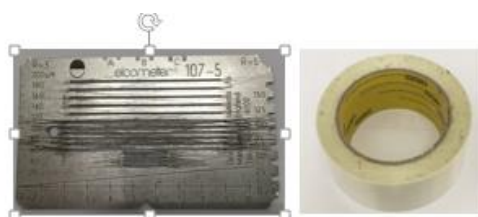


Figura 33-Molde de aderência e fita adesiva utilizada.

### 3.2.7.2 Ensaio da cura

O ensaio da cura foi realizado segundo a norma GMW 15891. Foi utilizada uma amostra de gaze dobrada em 4 partes saturada em etanol. Foram feitos 10 esfregaços (movimento para trás-frente com força) em cada amostra. A avaliação foi feita segundo as tabelas 8 e 9.

### 3.2.7.3. Resistência à humidade e Condensação constante

A resistência á humidade foi realizada de acordo com a norma GMW 14729. Neste ensaio as peças foram colocadas numa camara de humidade *Erichsen Testing equipment*, modelo *Hygrometer 519*, uma imagem desta camara pode ser vista na figura 34. A camara simula um ambiente saturado de humidade a temperatura de 40 °C e 100% de humidade relativa.

As peças foram avaliadas após 96 e 240 horas de exposição a este ambiente. Durante cada avaliação foi efetuada uma aderência pelo método da quadrícula, aderência esta que foi avaliada de acordo com a tabela 7.



Figura 34-Câmara de humidade Erichsen.

### 3.2.7.4. Resistência à Gravilha

Este ensaio foi realizado segundo a norma GMW 14700 e foi utilizado um gravilhómetro da marca Gravelometer-Multi Test, equipamento este que pode ser visto na figura 35. Foram realizados dois métodos diferentes (método B e C):

No método B as amostras foram acondicionadas a -18 °C durante 4 horas. Após este período o ensaio foi realizado imediatamente já que as amostras tinham de ser testadas a esta temperatura.

No método C as amostras foram logo testadas já que as amostras devem ser testadas a temperatura ambiente.

O procedimento utilizado para o manuseamento do equipamento foi o seguinte:

- Ajustar a pressão de ar no aparelho para  $480 \pm 20$  KPa (70psi) com a válvula de ar aberta;
- Após ajustar a pressão de ar, fechar a válvula de ar, abrir a câmara da gravilha e coletar  $473 \pm 10$  ml de gravilha;
- Colocar a peça a ser ensaiada no equipamento;
- Projetar a gravilha durante  $4 \pm 1$  segundos;
- Remover a peça ensaiada e avaliar de acordo com a tabela 10;



Figura 35-Gravilhómetro utilizado.

De salientar que foi utilizada gravilha de pedra, com a referencia G-699. Esta pode ser observada na figura 36.



Figura 36-Gravilha de pedra G-699.

#### 3.2.7.5. Resistência à gasolina

A norma utilizada para este ensaio foi a GMW 14333 e o método seguido foi o A. Este método consiste num ciclo em que as amostras são imersas numa solução de gasolina durante  $10 \pm 1$  segundos sendo logo de seguida retiradas durante  $20 \pm 1$  segundos de forma a secar. Foram efetuados 10 ciclos o que corresponde a um tempo de 5 minutos por cada amostra. Todos os tempos foram cronometrados com o auxílio de um cronómetro da marca Casio. Após os 5 minutos foi feita uma avaliação na zona que esteve imersa, verificando se houve alguma alteração do revestimento e realizando o teste da resistência da unha (*thumbnail hardness check* com a norma GM 9507P). A solução de gasolina utilizada é da marca *Gasoline Text Fuel*.

#### 3.2.7.6. Resistência aos Químicos

A resistência aos químicos foi realizada segundo a norma GMW 14701. Os químicos utilizados foram os seguintes: óleo de motor, líquido do limpa-para-brisas, fluido dos travões, glicol e anticongelante. Foram utilizados dois métodos: o método 2 e o 3.

No método 2 aplicaram-se duas gotas de cada solução (0.05 ml via pipeta) nas amostras, estas ficaram acondicionadas a temperatura ambiente durante 24 horas. Após este período as amostras foram lavadas com água e foram bem secas para serem avaliadas. A avaliação foi feita utilizando a tabela 12.

O método 3 consiste na aplicação das duas gotas de cada solução nas amostras. Estas foram colocadas numa estufa a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 30 minutos. Após este período as amostras foram lavadas, secas e avaliadas segundo a tabela 12.

#### 3.2.7.7. Ciclo de Humidade Fria

Este ciclo foi realizado segundo a norma GMW 14124. As amostras foram colocadas numa camara climática da marca *Binder* para a realização da etapa dos  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  e numa camara de humidade, *Erichsen Testing equipment* (figura 34), modelo *Hygrometer* 519, para a realização da etapa da humidade, etapas estas que podem ser vistas na tabela 13. Cada ciclo teve a duração de um dia e foram feitos 15 ciclos. Após o final deste período foi feita uma aderência pelo método da quadrícula em cada uma das amostras, cuja avaliação foi feita utilizando a tabela 7. A camara climática utilizada neste ensaio pode ser vista na figura 37.



Figura 37-Câmara climática Binder.

#### 3.2.7.8. Resistência ao equipamento de limpeza

A norma utilizada para este ensaio foi a GMW 14797. Em cada uma das amostras foi necessário fazer um traço linear, com um x-ato. As peças de teste foram então submetidas a um jato de água quente durante  $30 \pm 5$  segundos. A distância entre a superfície da amostra e o jato deve ser de  $25 \pm 5$  cm, a temperatura da água não deve exceder os  $80 \pm 3$  °C e a pressão os  $8 \pm 5$  MPa. No final as amostras não podem sofrer qualquer alteração no revestimento. O equipamento utilizado é o *Walter Steam Jet Tester LTA1* e pode ser observado na figura 38.

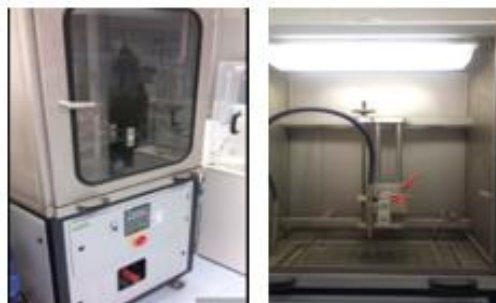


Figura 38-Walter Steam Jet Tester LTA 1.

#### 3.2.7.9. Espessura das camadas

Este ensaio foi feito segundo a norma ISO 2808. O equipamento utilizado para a medição das espessuras foi o Elcometer 121/4, presente na figura 39. Utilizando este medidor foi feito um corte na peça, neste corte e utilizando a lupa do equipamento foi possível medir a espessura de cada uma das camadas que constituem o revestimento.



Figura 39-Elcometer 121/4 utilizado na medição de espessuras.

#### 4. Análise dos resultados obtidos

A primeira parte experimental deste trabalho iniciou-se com a procura dos principais defeitos que colocavam em causa a qualidade do revestimento das peças do projeto *Projeto X*. O problema de aderência do revestimento foi acrescentado a lista dos problemas encontrados.

Na segunda parte do trabalho realizou-se uma caracterização exaustiva de amostras revestidas com duas bases diferentes. Foi feito um estudo comparativo entre a base com problemas de aderência, a *Tinta A*, com uma base que não apresenta este tipo de problemas, a *Tinta B*. De salientar ainda o estudo que foi feito à influência que o tratamento de limpeza e o pré-tratamento das superfícies pode ter nos casos de falta de aderência.

##### 4.1. Análise dos resultados obtidos na resolução estruturada dos defeitos encontrados

O primeiro passo foi o desenho do fluxograma do processo, representado na figura 40. Através da observação deste mapa foi possível identificar as principais zonas críticas do processo. Foram identificadas as seguintes zonas:

- A zona dos banhos, local onde as peças sofrem o tratamento de limpeza (zona laranja);
- As cabines de pintura, zona onde as peças são pintadas (zona roxa);
- Estufa de cura do verniz, situada logo após o *flash off* do verniz (Zona verde);

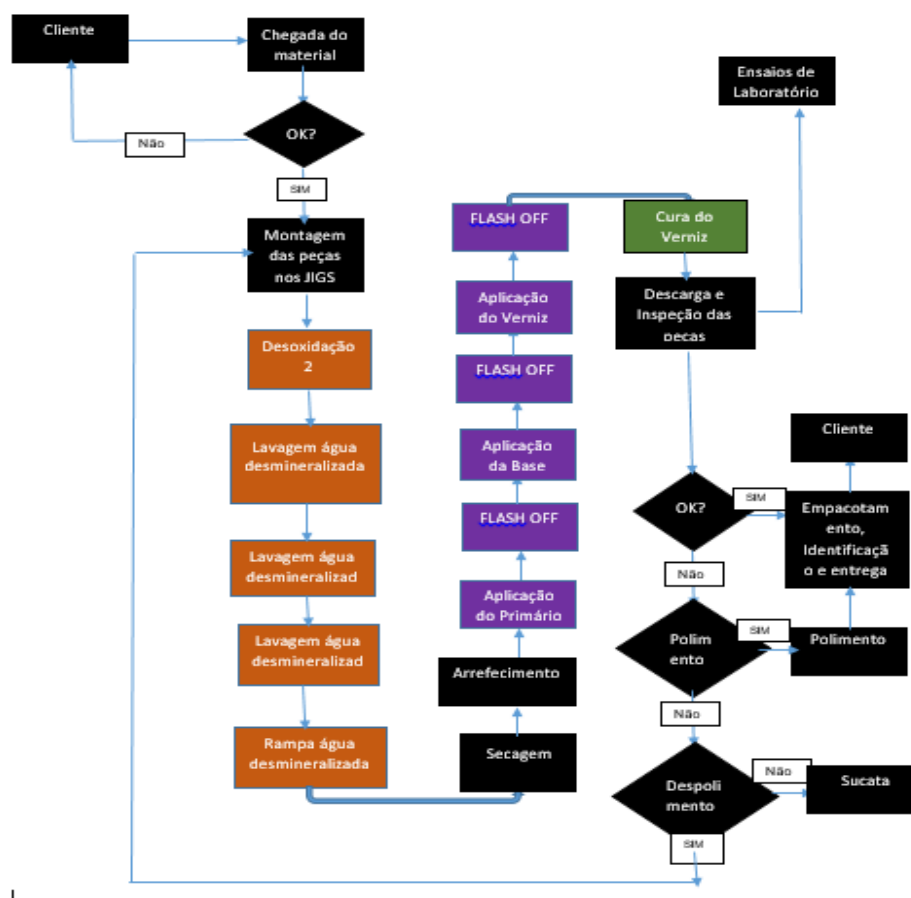


Figura 40-Fluxograma do processo para o projeto Projeto X.

O passo seguinte foi a recolha na base de dados da Empresa Y da informação relativa aos defeitos mais frequentes encontrados no projeto em estudo para as duas bases. Estes dados podem ser consultados no Anexo B. Com estes dados foram feitos dois diagramas de *Pareto*, um para cada base.

Da análise do diagrama de *Pareto* visível na figura 41 foi possível concluir que no caso da base *Tinta B*, 80% das não conformidades advêm de 18% dos defeitos, ou seja, a tonalidade e as sujidades são responsáveis por 80% das peças rejeitadas.

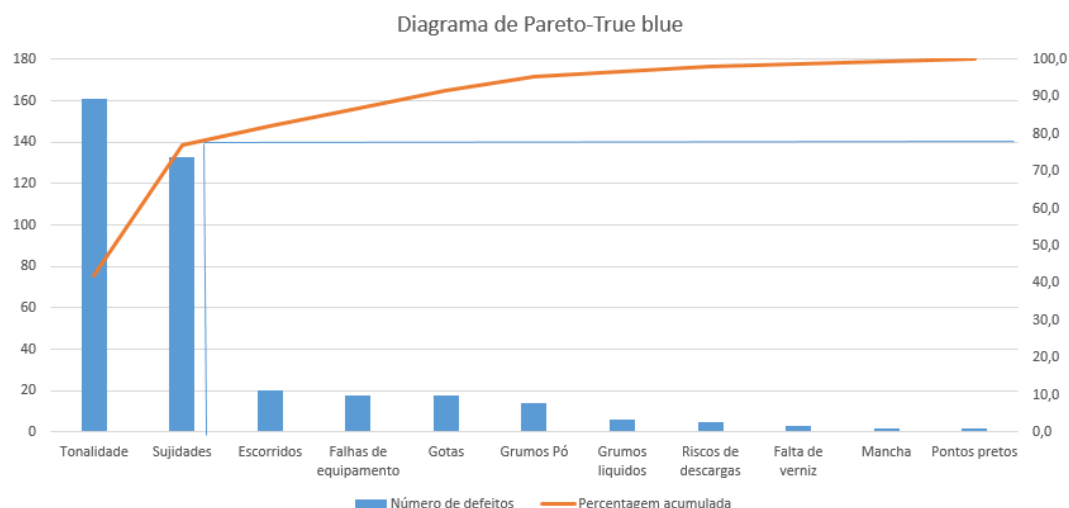


Figura 41-Diagrama de Pareto da base Tinta B.

Na base *Tinta A* é possível observar na figura 42 que 80% das peças são rejeitadas devido a 21% dos defeitos. Neste caso os principais responsáveis pelas não conformidades são a tonalidade, as sujidades e os riscos devidos à descarga.

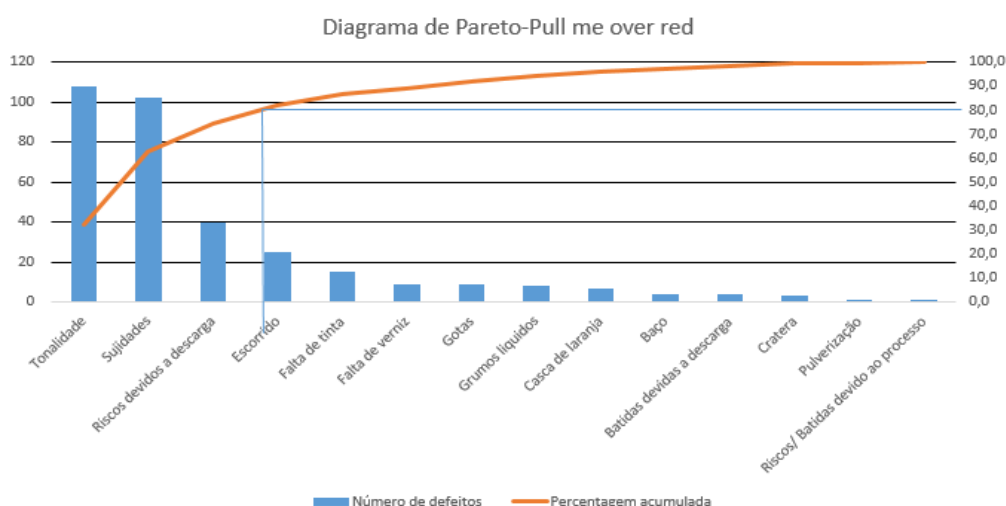


Figura 42-Diagrama de Pareto da base Tinta A.

Com os principais defeitos verificados, foi necessário identificar as principais causas que davam origem a estes defeitos. Para esta identificação foram elaborados diagramas de *Ishikawa* para cada defeito encontrado: sujidades, tonalidade, riscos devidos a descarga e falta

de aderência. De notar que estes diagramas foram elaborados durante as sessões de brains-torming.

No caso das sujidades o diagrama pode ser visualizado na figura 43. Do estudo deste diagrama foi possível concluir que o tipo de material (alumínio ou plástico), o controlo dos banhos, a colocação das peças nos JIGS (suportes onde as peças são colocadas durante todo o processo), o ambiente envolvente e os erros na inspeção das peças são as principais causas raiz deste defeito. Também é possível verificar que as causas relacionadas com os métodos (6) e com o meio ambiente (6) são as que mais influencia têm neste defeito.

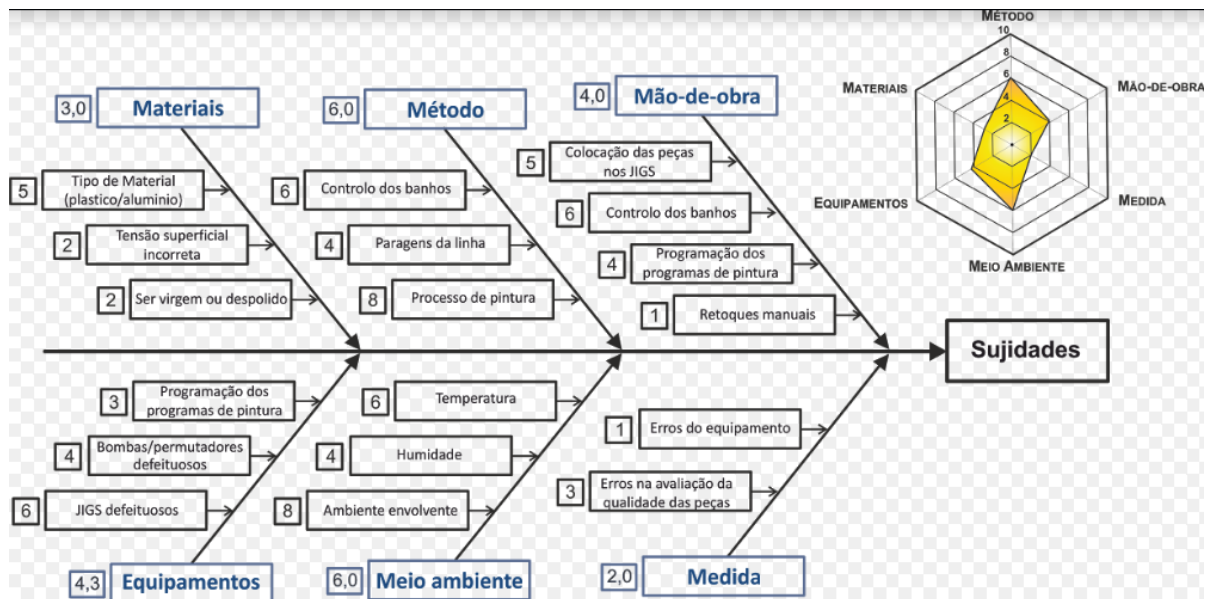


Figura 43-Diagrama de Ishikawa para as Sujidades.

A análise e elaboração do diagrama para o defeito da tonalidade permitiu concluir que o processo de pintura, a programação dos programas de pintura, os robots, as pistolas, a temperatura, e os erros dos operadores que avaliam a tonalidade das peças são as principais causas raiz. O diagrama deste defeito pode ser observado na figura 44. Neste caso são as causas relacionadas com os métodos que têm maior influência (8).

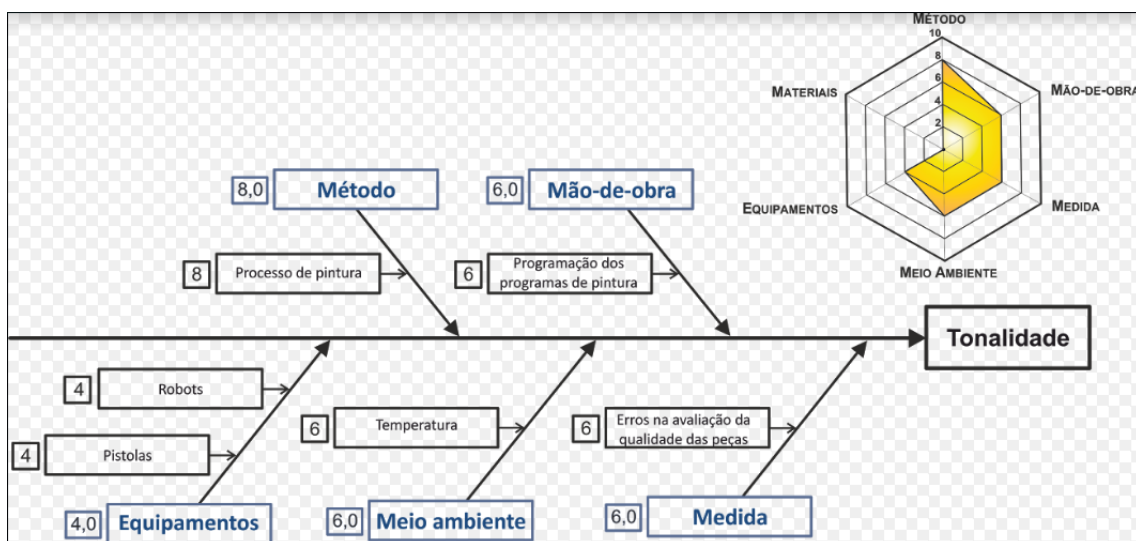


Figura 44-Diagrama de Ishikawa para a tonalidade.



Para o caso dos riscos devidos a descarga, o diagrama de *Ishikawa*, representado na figura 45, permitiu chegar a conclusão de que as principais causas raiz deste defeito são os erros dos operadores da descarga e os JIGS defeituosos. A mão de obra é a causa que mais impacto têm neste defeito (10).

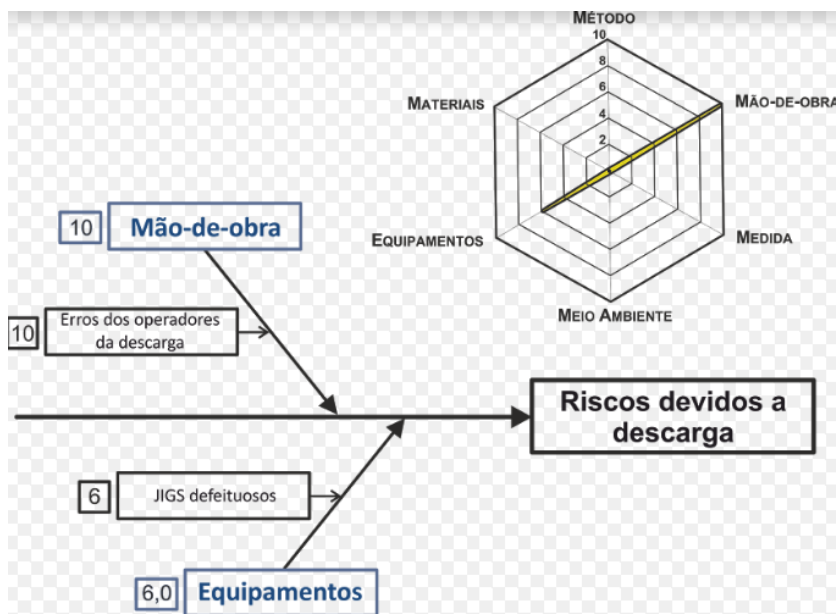


Figura 45-Diagrama de Ishikawa para os riscos devidos a descarga.

No caso da falta de aderência do revestimento, o estudo do diagrama de *Ishikawa* representado na figura 46, permitiu identificar o controlo dos banhos, o processo de pintura, a tensão superficial do material, o processo de cura, a programação dos programas de pintura, os JIGS defeituosos e os erros do operador como as principais causas raiz deste defeito. Neste caso as causas relacionadas com os métodos são as que têm maior influencia (6).

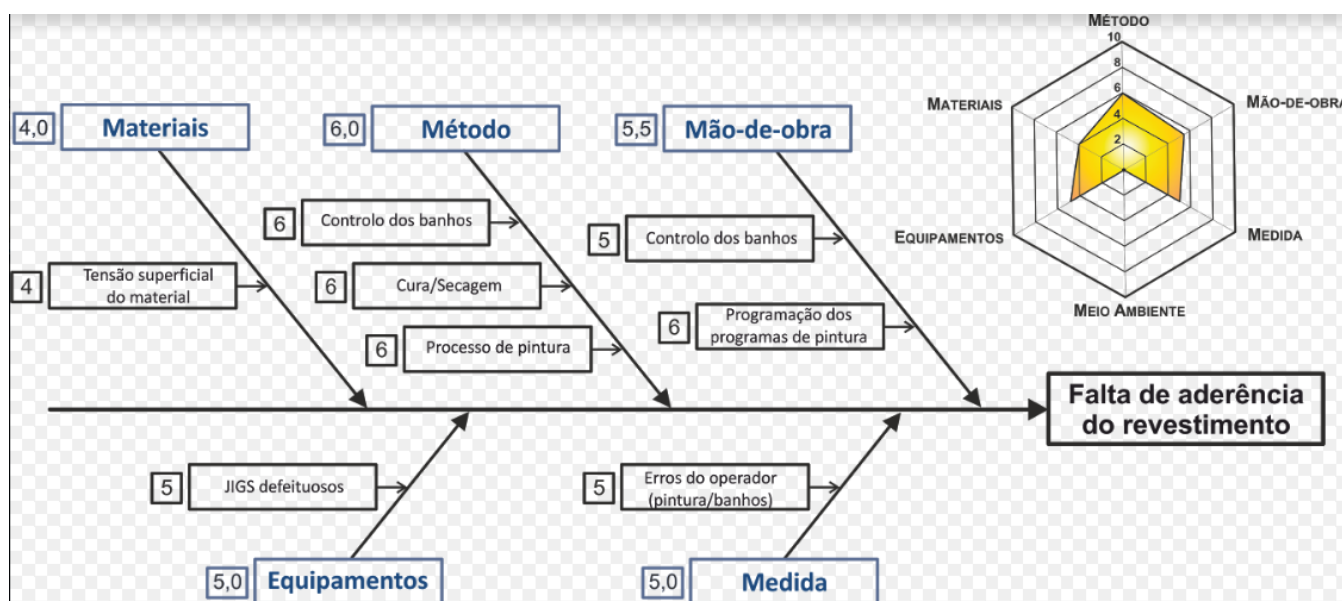


Figura 46-Diagrama de Ishikawa para a falta de aderência do revestimento.



Com as causas dos principais defeitos identificadas foram elaboradas tabelas 5W2H, que permitiram arranjar possíveis soluções para resolver cada uma das causas encontradas.

Nas tabelas 16, 17, 18 e 19 é possível observar as soluções que foram encontradas, o custo e o prazo da implementação das mesmas.

Da análise da tabela 16 é possível verificar que no caso das sujidades foi possível implementar algumas soluções de forma a tentar reduzir o número de não conformidades provocadas por este defeito. As soluções implementadas foram a introdução do uso de luvas na montagem das peças nos JIGS e a criação de uma *Check List* (Anexo B), que permite ter um controlo dos banhos que estão ligados e desligados e as respetivas horas em que o operador efetuou estas alterações. Isto permite que na eventualidade de acontecer algum problema seja possível verificar se estava tudo correto nesta zona crítica do processo.

Estas alterações fazem com que as sujidades provocadas pelos óleos e gorduras das mãos dos operadores bem como as sujidades introduzidas nas peças no caso de passarem por algum banho errado sejam evitadas.

Analisando a tabela 17 é possível verificar que com algumas alterações será possível diminuir a quantidade de peças com riscos devidos à descarga. Se for dada uma formação adequada aos operadores que lidam com a descarga das peças bem como a sensibilização para o uso de luvas, o número de riscos que aparecem nesta fase irá diminuir. No caso dos JIGS defeituosos foi criada uma *Check List* (Anexo B) para garantir que quando o JIG é recebido do fornecedor, cumpre com todos os requisitos necessários, ou seja, que todas as peças encaixam na perfeição, que não há zonas empenadas nem deformadas e que o dimensionamento do mesmo foi bem produzido.

Relativamente ao defeito presente na tabela 18 não foi implementada nenhuma melhoria, já que qualquer uma das soluções para este problema implicava elevados custos, no entanto algumas destas mudanças poderiam trazer benefícios ao processo de pintura. Como por exemplo o controlo de espessuras seria muito útil para garantir que a espessura da aplicação das camadas é a correta, o controlo de temperaturas também ajudaria muito já que garantia que a viscosidade da tinta que é aplicada é sempre a mesma e finalmente, uma boa formação dos operadores que avaliam as peças na descarga faria com que os erros provenientes de avaliações incorretas diminuíssem.

Relativamente à falta de aderência do revestimento, representada na tabela 19, apenas foram implementadas as *Check List* do controlo dos banhos e da receção dos JIGS, já que todas as outras soluções implicavam custos muito elevados. No entanto o controlo da espessura das camadas no *flash off* seria de extrema importância, já que este é um dos pontos fundamentais neste tipo de problemas. A circulação do ar da estufa da cura do verniz também é fundamental ser controlada, uma vez que se a temperatura e tempo de cura não forem os ideais, o revestimento não vai aderir ao substrato. A tensão superficial do substrato polimérico uma vez que o processo de flamear as peças pode resolver este tipo de problemas.

Com as soluções descobertas, o próximo passo foi elaborar relatórios 8D para as soluções que foram implementadas no caso em estudo: *Check List* do controlo de banhos, da receção dos JIGS e a utilização de luvas pelo operador que coloca as peças nos respetivos JIGS.

Este tipo de relatórios permite a implementação de medidas corretivas e o respetivo controlo das mesmas ao longo do tempo. O relatório para a implementação da *Check List* do controlo dos banhos pode ser observado na figura 47. Os relatórios para os outros dois casos mencionados anteriormente podem ser consultados no Anexo B. O modelo de relatório utilizado na resolução destes problemas foi o que usualmente é utilizado pela Empresa Y.


 <b>RELATÓRIO - G 8D / G 8D - REPORT</b>			
Nº Number	<input checked="" type="checkbox"/> Cliente/ Client	Data Emissão/ Issue Date:	Data Revisão/ Revision [
Sector/ Area	<input type="checkbox"/> Fornecedor/ Supplier	Projecto/ Project:	Peça/ Part Name:
Ref./ DocRef			
<b>D0 - Identificação do problema / Containment Action</b>			
Efeito / Effect: Falhas de aderência identificadas no laboratório			
Ação de Emergência / Emergency action		Result	Dat.
Verificação / Verification:			
<b>D1 - Grupo de Trabalho / Analysis Team:</b>		<b>D2 - Descrição do Problema / Concern Details</b>	
A equipa foi formada pela responsável do laboratório, técnica do laboratório, estagiário do laboratório, responsável da qualidade,		Falta de aderência no revestimento das peças do projeto Opel Mokka	
<b>D3 - Ações de Contenção / Containment Action</b>		Eficiênc.	Dat.
Criação de uma Check List para o controlo dos banhos.			
<b>D4 - Definição das Causas Raiz / Definition of Root Causes</b>		%Contrib.	
As peças passarem nos banhos errados			
<b>D5 - Definição das Ações Correctivas / Correc. Actions Definition</b>		Validação	Dat.
Uso da check list por parte dos operadores de banhos			
<b>D6 - Impl. das Ações Correctivas / Correc. Actions Implementation</b>		Eficiênc.	Dat.
Implementação da check list na documentação diária dos operadores de banho.			
<b>D7 - Ações Preventivas / Preventive Actions</b>		Dat.	Resp.
Necessário rever documentos? PFMEA ____ Plano Controlo ____ Fluxo Processo ____			
<b>D8 - Avaliação de eficácia / Effectiveness Evaluation</b>		Dat.	Resp.
		--	--
Data de Encer./ Close Date		Lider/ Team Leader	
		Qualidade / Quality	

Figura 47-Relatório 8D para a implementação da Check List dos banhos.

Tabela 16-Tabela 5W2H para o defeito das sujidades.

5W					2H	
What?	Why?	Who?	Where?	When?	How?	How much?
Sujida- des	Colocação das peças nos JIGS	Paulino Silva	Linha 8	2 Meses	Dar formação e tentar sensibilizar os operadores para a importância do uso de luvas durante a montagem das peças nos JIGS	58€ por mês(custo de 40 pares de luvas por mês, sendo que cada par custa 1,45€)
	Controlo dos banhos			2 Meses	Criação de uma Check list de forma a garantir que o controlo dos banhos é bem feito quando existe mudança do tipo de material	Sem custos associados
	Tipo de material			2 Meses	Criação de uma Check list de forma a garantir que o controlo dos banhos é bem feito quando existe mudança do tipo de material	Sem custos associados
	Ambiente envolvente			Sem prazo definido	Criar zonas específicas de quarentena para o armazenamento das peças antes de estas entrarem na linha	Sem custos definidos
	Erros na inspeção das peças			Sem prazo definido	Melhorar a formação dos operadores que avaliam a qualidade final das peças	Sem custos definidos

Tabela 17-Tabela 5W2H para o defeito dos riscos devidos à descarga.

5W					2H	
What?	Why?	Who?	Where?	When?	How?	How much?
Riscos devidos à descarga	Erros dos operadores da descarga	Paulino Silva	Linha 8	Sem prazo definido	Melhorar a formação dos operadores e sensibilizar o mesmo para o uso de luvas durante a descarga das peças	58€ por mês(custo de 40 pares de luvas por mês, sendo que cada par custa 1,45€)
	JIGS defeituosos			Sem prazo definido	Elaboração de uma <i>check List</i> que permita avaliar a condição dos JIGS quando estes são rececionados	Sem custos associados

Tabela 18-Tabela 5W2H para o defeito da tonalidade.

5W				2H		
What?	Why?	Who?	Where?	When?	How?	How much?
<b>Tonali- dade</b>	Processo de pintura	Paulino Silva	Linha 8	Sem prazo definido	Controlo das espessuras em cada <i>flash off</i> (neste caso a camada mais importante é a base), utilizando um microscópio ótico portátil	Custo do microscópio ótico portátil
	Programação dos programas de pintura			Sem prazo definido	Melhorar os programas de aplicação do revestimento, principalmente da base, para garantir que esta camada seja aplicada o mais uniformemente possível	Sem custos definidos
	Programação dos Robots			Sem prazo definido	Melhorar a programação dos robots para garantir uma aplicação uniforme dos revestimentos	Sem custos definidos
	Programação das pistolas			Sem prazo definido	Melhorar a programação das pistolas para garantir uma aplicação uniforme dos revestimentos	Sem custos definidos
	Temperatura			Sem prazo definido	Realizar um controlo diário de temperatura no interior das cabines de pintura, para garantir que a temperatura é sempre a correta	Sem custos definidos
	Erros dos operadores na avaliação da tonalidade das peças			Sem prazo definido	Melhorar a formação dos operadores que avaliam a tonalidade das peças	Sem custos definidos

Tabela 19-tabela 5W2H para o defeito da falta de aderência do revestimento.

2H						
<i>What?</i>	<i>Why?</i>	<i>Who?</i>	<i>Where?</i>	<i>When?</i>	<i>How?</i>	<i>How much?</i>
<b>Falta de aderência do revestimento</b>	Processo de pintura	Paulino Silva	Linha 8	Sem prazo definido	Controlo das espessuras em cada <i>flash off</i> (neste caso a camada mais importante é a base), utilizando um microscópio ótico portátil	Custo do microscópio ótico portátil
	Controlo dos banhos			2 Meses	Criação de uma <i>Check List</i> de forma a garantir que o controlo dos banhos é bem feito quando existe mudança do tipo de material	Sem custos associados
	Cura			Sem prazo definido	Melhorar a circulação do ar no interior da estufa de cura do verniz	Sem custos definidos
	JIGS defeituosos			Sem prazo definido	Elaboração de uma <i>Check List</i> que permita avaliar a condição dos JIGS quando estes são rececionados	Sem custos definidos
	Erros do operador dos banhos			Sem prazo definido	Melhorar a formação dos operadores e sensibilizar para a importância dos banhos no processo de pintura.	Sem custos definidos
	Tensão superficial do material			Sem prazo definido	Flamear as peças quando a tensão superficial do material não é adequada	Sem custos definidos

## 4.2. Análise dos resultados da caracterização dos revestimentos.

### 4.2.1. Tensão superficial da poliamida 6 com reforço de 30% de fibra de vidro

Os valores para a tensão superficial das soluções e ângulos de contato podem ser observados na tabela 20. Estes valores foram retirados do tensiômetro e do *software* do Goniômetro utilizados neste ensaio.

Tabela 20-Resultados dos ângulos de contato e tensão superficial das soluções.

Líquido	$\Theta(^{\circ})$	Tensão superficial das soluções ( $\gamma_{LV}$ )	
		Huh-Mason Correction (dyn/cm)	Zuidema Waters correction (dyn/cm)
Água destilada	82.13	71,64	71,20
Glicerol	73.60	51,40	51,30
Dietileno glicol	43.89	43,83	43,77
Etileno glicol	59.58	46,88	46,77
Tinta A	24.47	26,32	26,52
Tinta B	30.26	26,36	26,55
Tinta C(Primário da base Tinta A)	28.32	25.59	25.95
Tinta D(primário da base Tinta B)	28.53	27.25	27.57

Da observação desta tabela 20 podemos concluir que os valores da tensão superficial da água, glicerol, etileno glicol e dietileno glicol apresentam-se próximos dos valores encontrados na bibliografia [34]. Utilizando estes valores, a equação 3 e a ferramenta solver do Excel calculou-se a tensão superficial da poliamida para cada uma das soluções. Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 21.

Tabela 21-Resultados da tensão superficial da poliamida.

Soluções	Tensão superficial da PA6+30% FB( $\gamma_{SV}$ )	
	Huh-Mason Correction(dyn/cm)	Zuidema Waters correction(dyn/cm)
Água destilada	33,36	33,06
Glicerol	25,10	25,04
Dietileno glicol	33,34	33,29
Etileno glicol	26,74	28,76
Tinta A	24,04	24,22
Tinta B	22,95	23,12
Tinta C(Primário da base Tinta A)	22,66	22,98
Tinta D(primário da base Tinta B)	24,10	24,38

Todos os valores obtidos para a poliamida são baixos quando comparados com o valor encontrado na bibliografia que é igual a 46 dyn/cm [43]. Este pode ser um dos problemas responsáveis pela falta de aderência na base Tinta A, já que se a tensão superficial do substrato for muito baixa, o revestimento não consegue aderir a superfície.



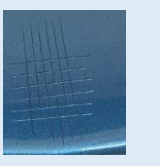
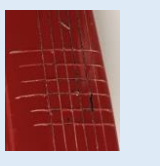
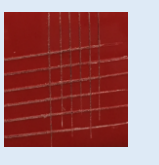
#### 4.2.2. Ensaios laboratoriais da norma regente do projeto X

Como referido anteriormente foram estudados 3 esquemas diferentes de tratamento do substrato: peças que passaram nos banhos e não foram flameadas, peças que não passaram nos banhos e não foram flameadas e peças que passaram nos banhos e foram flameadas. A norma regente dos ensaios é a GMW 14797.

##### 4.2.2.1. Aderência pelo método da quadrícula

O primeiro ensaio a ser realizado foi a aderência pelo método da quadrícula, cujos resultados podem ser observados na tabela 22.

Tabela 22-Resultados da aderência pelo método da quadrícula.

Ensaio	Resultados					
	Tinta B			Tinta A		
	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado
Aderência						
Resultado	0 (OK)	0 (OK)	0 (OK)	2 (NOK)	2 (NOK)	1 (OK)

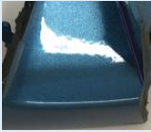
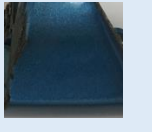
Observando a tabela 22 é possível verificar que a base *Tinta B* cumpre em todas as amostras a especificação da norma regente, ou seja, não foi verificada falta de aderência.

No caso da base *Tinta A*, não se pode concluir nada sobre a importância dos banhos, já que em ambas as amostras se verificou falta de aderência. No entanto relativamente ao flameado é notório que teve impacto na aderência do revestimento, já que após o flamear das peças as amostras apresentaram boa aderência.

##### 4.2.2.2. Ensaio da Cura

Os resultados deste ensaio são representados na tabela 23. Verifica-se que em ambas as bases, para todos os tratamentos, os revestimentos cumprem a especificação do ensaio, cuja classificação pode ser no máximo 0 (tabela 8 e 9), ou seja não houve alterações visuais nas amostras quando submetidas ao etanol.


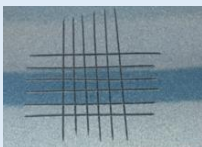
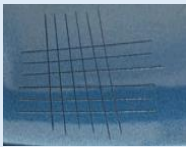
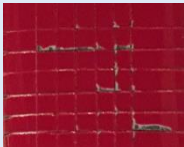
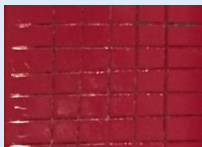

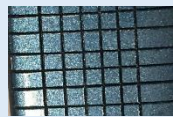



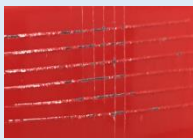

Tabela 23-Resultados do Ensaio da cura.

Ensaio	Resultados					
	Tinta B			Tinta A		
	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado
Cura						
Resultado	0 (OK)	0 (OK)	0 (OK)	0 (OK)	0 (OK)	0 (OK)

#### 4.2.2.3. Resistência à humidade e Condensação Constante

Neste ensaio, as amostras foram avaliadas em dois períodos diferentes, o primeiro após 96 horas de exposição ao ambiente da câmara de humidade e a segunda após 240 horas. Em cada uma das avaliações foi feita uma aderência pelo método da quadrícula e avaliou-se o aspeto visual. Os resultados deste ensaio podem ser vistos na tabela 24.

Tabela 24-Resultados da resistência à Humidade e Condensação Constante.

Ensaio	Resultados					
	Tinta B			Tinta A		
	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado
Humidade (96h)						
Resultado	0 (OK)	0 (OK)	0 (OK)	2 (NOK)	1 (OK)	0 (OK)
Humidade (240h)						
Resultado	0 (OK)	0 (OK)	0 (OK)	2 (NOK)	2 (NOK)	1 (OK)

Da análise da tabela anterior é possível verificar que na base *Tinta B*, o revestimento apresenta um comportamento dentro da especificação do projeto, não houve alterações no revestimento e todas as aderências são inferiores a 1.

No caso da base *Tinta A*, a influência dos banhos é notória já que as amostras que não passaram nos banhos apresentam-se fora da especificação. As peças que passaram nos banhos apresentaram uma melhor aderência do revestimento e consequentemente uma melhor resistência à humidade. Relativamente ao tratamento do flameado verificou-se que as peças apresentaram melhores resultados comparativamente aos outros dois esquemas. Podemos assim verificar que flamear as poliamidas melhora a impermeabilidade das mesmas, facto este que esta de acordo com a bibliografia [41].

#### 4.2.2.4. Resistência à gravilha

No ensaio da resistência à gravilha e analisando a tabela 25, verificamos que todas as amostras estão dentro da especificação (classificação mínima igual a 9). Em todas as peças, os impactos que atingiram o substrato e o primário foram em menor número e o diâmetro médio foi sempre igual a 1. Alguns impactos verificados na base e no verniz apresentaram diâmetros médios com a dimensão igual a 2 (tabela 10). Deste modo verificamos que a temperatura das amostras testadas não teve influência nos resultados obtidos.



Tabela 25-Resultados da Resistência à gravilha.

Ensaio	Resultados					
	Tinta B			Tinta A		
	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado
Método B (-18±2)						
Resultado	9 (OK)	9 (OK)	9 (OK)	9 (OK)	9 (OK)	9 (OK)
Método C (22±5)						
Resultado	9 (OK)	9 (OK)	9 (OK)	9 (OK)	9 (OK)	9 (OK)

#### 4.2.2.5. Resistência à Gasolina

No ensaio de resistência á gasolina após o ciclo de imersão, não houve alterações em nenhum dos revestimentos ensaiados, isto pode ser observado na tabela 26. Devido ao facto de todas as amostras estarem dentro da especificação não se pode concluir nada sobre os tratamentos efetuados. Em relação ao teste da unha, verificamos que este não provocou nenhuma alteração no revestimento.

Tabela 26-Resultados da resistência à gasolina.



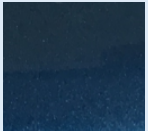


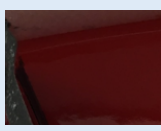



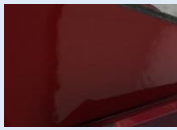

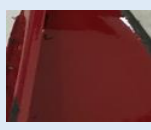

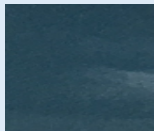

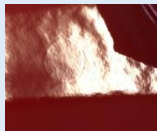

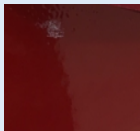
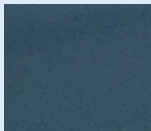

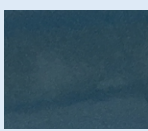

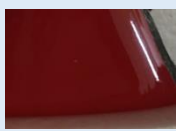
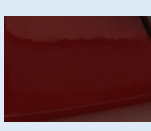



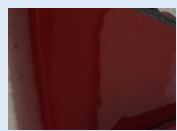
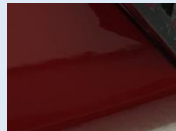

Ensaio	Resultados					
	Tinta B			Tinta A		
	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado
Resistencia à Gasolina						
Resultado	Sem alterações (OK)	Sem alterações (OK)	Sem alterações (OK)	Sem alterações (OK)	Sem alterações (OK)	Sem alterações (OK)

#### 4.2.2.6. Resistência aos Químicos

Neste ensaio apenas o fluido dos travões provocou uma ligeira alteração nos revestimentos das amostras. Como o ataque do fluido dos travões foi ligeiro e os outros químicos não

provocaram alterações pode-se concluir que todas as amostras estão dentro da especificação da norma, já que esta permite pequenas alterações no caso deste fluido. Os resultados obtidos para este ensaio podem ser observados na tabela 27. Neste caso não foi possível concluir nada relativamente a influência do flameado nem dos banhos.

Tabela 27-Resultados da Resistência aos Químicos.

Ensaio	Resultados					
	Tinta B			Tinta A		
	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado
Óleo de Motor						
Resultado	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)
Fluido de limpeza para brisas						
Resultado	8 (OK)	8 (OK)	8 (OK)	8 (OK)	8 (OK)	8 (OK)
Fluido para travões						
Resultado	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)
Glicol						
Resultado	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)
Anti Congelante						
Resultado	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)	10 (OK)

#### 4.2.2.7. Ciclo de Humidade Fria

Neste ensaio as peças foram submetidas ao ciclo A, representado na tabela 13, durante 15 dias, após estes 15 dias foi feita uma aderência pelo método da quadrícula em cada amostra. Os resultados podem ser observados na tabela 28.

Tabela 28-Resultados do ciclo de Humidade Fria.



Ensaio	Resultados					
	Tinta B			Tinta A		
	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado
Ciclo de Humidade Fria						
Resultado	0 (OK)	0 (OK)	0 (OK)	2 (NOK)	2 (NOK)	1 (OK)

Mais uma vez é notório que após o processo de flameado das peças, existe melhoria na aderência do revestimento da base Tinta A. A influência dos banhos não parece ser muita relevante neste caso, já que ambas as amostras (com e sem banhos) apresentam problemas de aderência fora da especificação permitida pela norma (classificação máxima igual a 1 da tabela 7). Visualmente as peças não apresentavam outras alterações.

#### 4.2.2.8. Resistência ao Equipamento de Limpeza

Os resultados para este ensaio podem ser observados na tabela 29. Neste caso todas as amostras apresentaram-se dentro da especificação da norma, uma vez que não se verificou delaminação ao longo do corte. Relativamente aos diferentes esquemas em estudo não é conclusiva a sua influência neste ensaio.

Tabela 29-Resultados da resistência ao Equipamento de Limpeza.

Ensaio	Resultados					
	Tinta B			Tinta A		
	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado
Resistência ao equipamento de limpeza						
Resultado	Sem alterações (OK)	Sem alterações (OK)	Sem alterações (OK)	Sem alterações (OK)	Sem alterações (OK)	Sem alterações (OK)

#### 4.2.2.9. Espessura das Camadas

Os resultados das espessuras dos revestimentos das amostras estudadas estão representados na tabela 30. Analisando esta tabela é possível ver que todas as espessuras da base Tinta B estão de acordo com as fichas técnicas (Anexo A). Já no caso da base Tinta A verificou-se que algumas camadas não apresentam a espessura correta. Este pode ser um dos principais fatores com influência na falta de aderência encontrada nestes revestimentos.

Tabela 30-Resultados do ensaio das espessuras por camada.

Ensaio	Resultados					
	Tinta B			Tinta A		
	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado	Sem passar nos banhos	Banhos sem Flameado	Banhos com Flameado
<b>Espessura Total (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	66	58	62	42	44	56
<b>Espessura por Camada (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	Primário: 6	Primário: 10	Primário: 8	Primário: 10	Primário: 8	Primário: 12
	Base: 20	Base: 18	Base: 20	Base: 12	Base: 16	Base: 12
	Verniz 40	Verniz: 30	Verniz: 34	Verniz: 20	Verniz: 18	Verniz: 32

#### 4.2.3. Microscopia eletrónica de varrimento (SEM), Metalografia e microscopia ótica

Foram utilizadas as técnicas SEM e metalografia para uma avaliação mais rigorosa da espessura das diferentes camadas das peças e das zonas onde houve falta de aderência.

##### 4.2.3.1. Medições das espessuras das peças com a base Tinta A

Na figura 48 esta representada a zona de destacamento de uma das amostras. É possível verificar a remoção do revestimento na zona de corte.

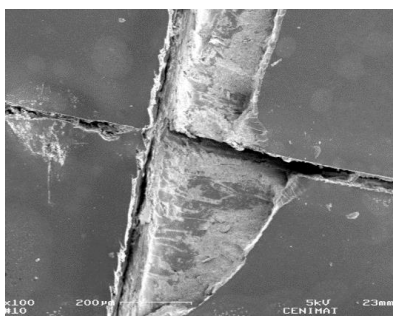


Figura 48-Imagem do SEM de uma zona de destacamento.

Utilizando o SEM não foi possível medir as espessuras das camadas, no entanto foi possível medir a total que foi igual a 135.48  $\mu\text{m}$ , representada na figura 49. Chegou-se a conclusão que o SEM estava descalibrado no dia desta observação.

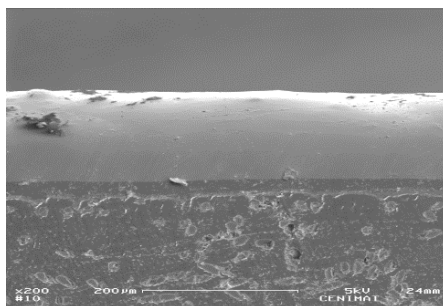


Figura 49-Espessura total da base Tinta A (SEM).

Na observada a imagem por microscopia ótica da preparação metalográfica da peça com a base

figura 50 é

Tinta A. Verificam-se as três camadas do revestimento e a espessura individual de cada uma delas (Primário-7,678; Base-18,519  $\mu\text{m}$ ; Verniz-32,973  $\mu\text{m}$ ). A espessura total do revestimento é igual a 59,17  $\mu\text{m}$ .

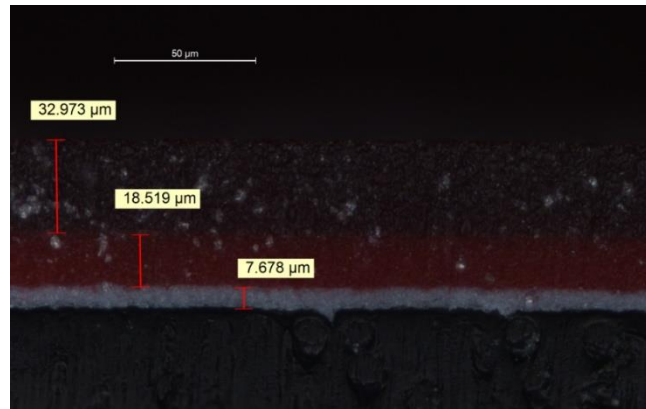


Figura 50-Imagem do Microscópio ótico da base Tinta A.

Tendo em conta as fichas técnicas do (anexo A), verifica-se que a espessura do primário no caso desta amostra está fora do recomendado (9-13  $\mu\text{m}$ ). Já a base e o verniz estão dentro das espessuras recomendadas pelo fornecedor. A espessura abaixo do ideal nesta amostra pode ser a causa do problema de falta de aderência.

#### 4.2.3.2. Medição das espessuras das peças com a base Tinta B

No caso da base Tinta B a espessura obtida pelo SEM pode ser observada na figura 51. Através da análise, verifica-se que a espessura total do revestimento é igual a 66.2  $\mu\text{m}$ .

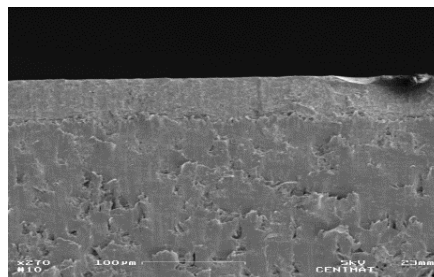


Figura 51-Espessura total da base Tinta B (SEM)

Na figura 52 é observada a imagem por microscopia ótica da preparação metalográfica da peça com a base Tinta B. Verificam-se as três camadas do revestimento e a espessura individual de cada uma delas (Primário-11,216  $\mu\text{m}$ ; Base-14,578  $\mu\text{m}$ ; Verniz-42,615  $\mu\text{m}$ ). A espessura total do revestimento é igual a 68.4  $\mu\text{m}$ .

Neste caso verificou-se que a espessura do primário está correta, já que esta tem de ser  $\leq 12$   $\mu\text{m}$ . A base está um pouco abaixo (deveria estar entre os 18-20  $\mu\text{m}$ ) e a camada de verniz está ligeiramente acima do valor recomendado que deveria estar entre 30-40  $\mu\text{m}$  (Anexo A).



Figura 52-Imagem do Microscópio ótico da base Tinta B.

#### 4.2.4. Cromatografia gasosa com espectrometria de massa acoplada

Esta análise permitiu caracterizar de uma forma mais específica as duas bases estudadas, sendo possível obter informação sobre a composição química de ambas. Mais concretamente dos compostos voláteis já que são estes que são analisados pela cromatografia gasosa.

Na figura 53 podem ser observados os cromatogramas obtidos das duas bases para 15 minutos de tempo de retenção.

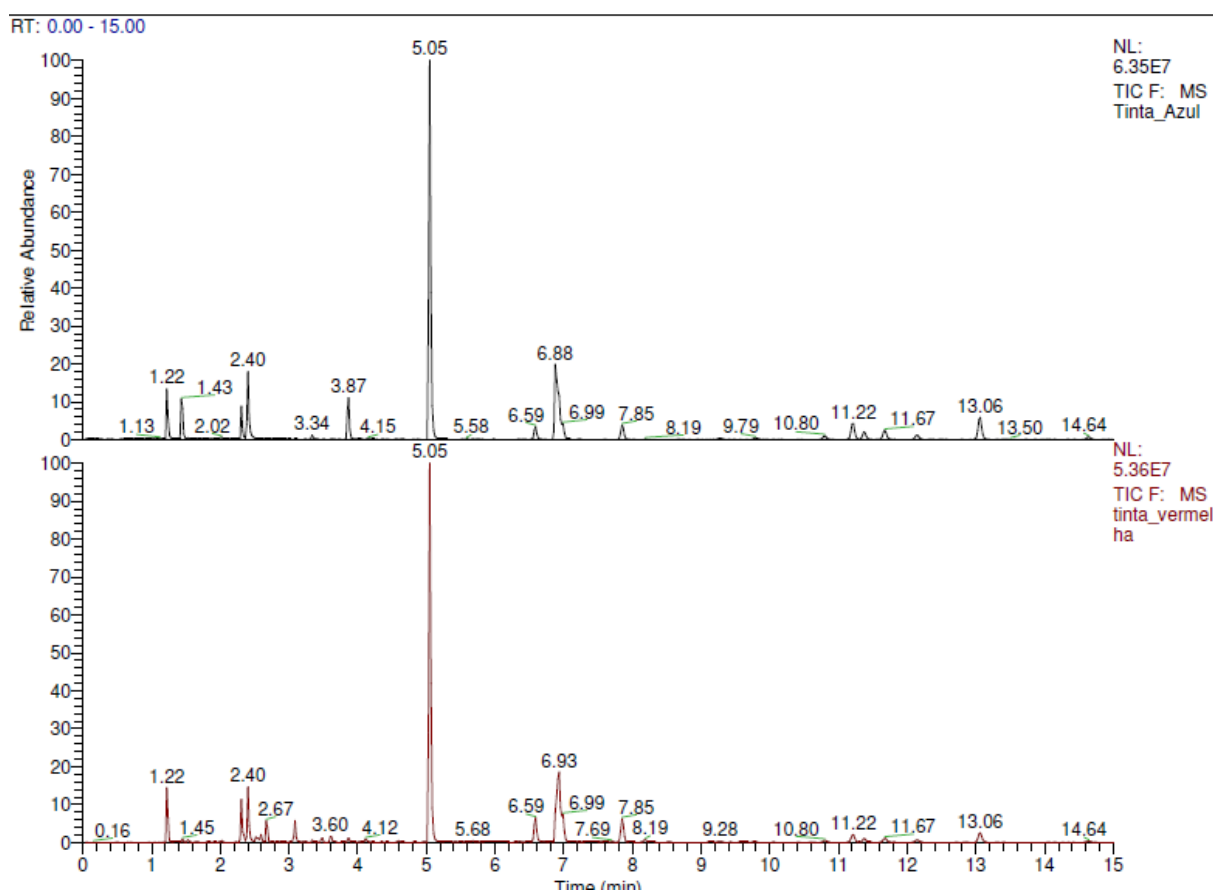


Figura 53-Cromatograma obtido para as duas bases.



Analisando a figura 52 é possível verificar que ambos os cromatogramas são muito semelhantes, o composto maioritário aparece em ambos aos 5,05 minutos, este tempo corresponde ao etanoato de butila. Também se pode concluir que a zona que apresenta maior número de diferenças é a zona que vai dos 0 aos 5 minutos. Como o objetivo era comparar as duas tintas de forma a tentar encontrar diferenças que permitissem explicar o porque das falhas de aderência na base *Tinta A*, foi feito um estudo a zona dos 0 aos 5 minutos de tempo de retenção. O cromatograma desta zona pode ser observado na figura 53.

Da observação da figura 54, podemos verificar que o pico dos 3,87 min correspondente ao tolueno tem maior intensidade na base *Tinta B* e que o pico dos 1,43 minutos respetivo a acetona apenas aparece nesta base.

Na base *Tinta A* surge aos 2,67 min o pico que pertence ao *n*-heptano e aos 3,09 minutos, o pico correspondente ao ciclohexano apresenta maior intensidade nesta base. Verificam-se diversos picos de baixa intensidade a partir dos 3 minutos que correspondem a diversos hidrocarbonetos como o trimetilpentano (3,49), Dimetilhexano (3,66) e Octano (4,59)

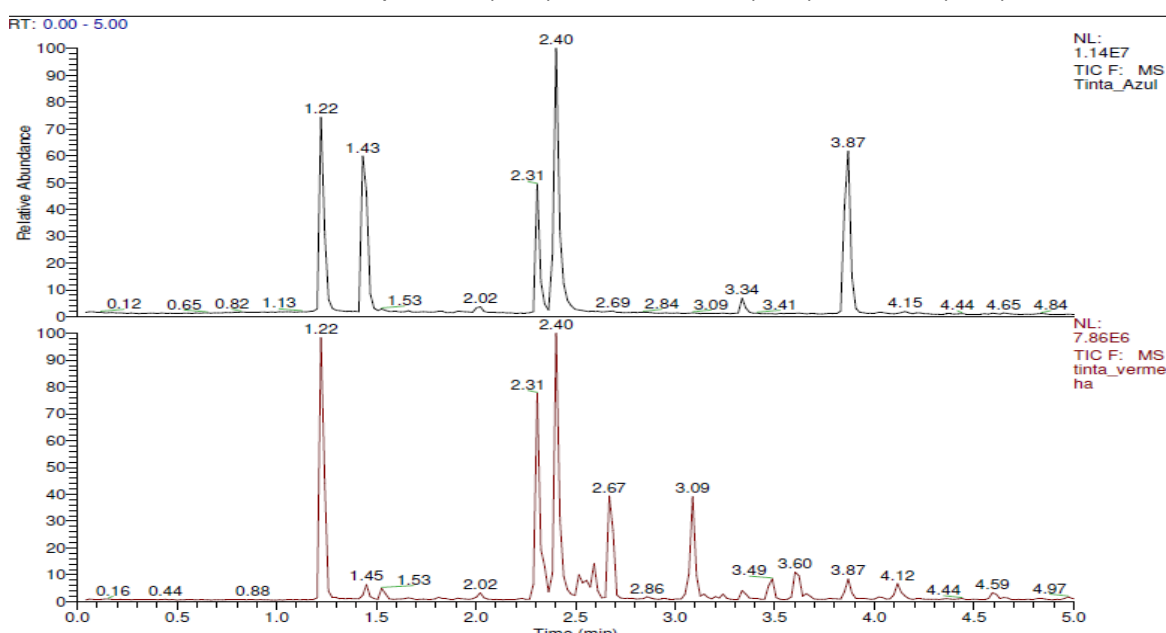


Figura 54-Cromatograma dos intervalos dos 0 aos 5 minutos de tempo de retenção de ambas as tintas.

Após a análise feita dos cromatogramas não foi possível concluir se a composição química das bases difere muito, já que os cromatogramas são muito semelhantes. Logo não é possível verificar se a composição química destas bases terá influência na aderência deste revestimento.

#### 4.2.5. Espectroscopia de Infravermelho por transformada de Fourier

O objetivo deste ensaio foi a caracterização química das bases utilizadas neste estudo, através comparação dos espectros de absorção das ligações químicas dos compostos.

Na figura 55, estão representados os espetros das duas bases sobrepostos, já que desta forma é possível identifica as zonas do espectro que apresentam maiores diferenças. A amostra 8 (linha vermelha) corresponde a base *Tinta A* e a amostra 9 (linha azul) corresponde a base *Tinta B*.

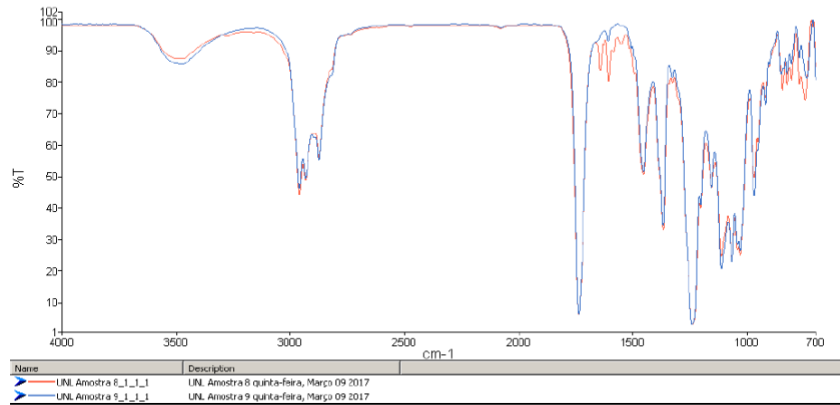


Figura 55-Espectros de FTIR das duas bases.

Analisando a figura 54 é possível verificar que as zonas com maiores diferenças estão situadas entre o intervalo de comprimento de onda de 1700-1500 e 900-750 cm<sup>-1</sup>, aproximadamente.

O comprimento de onda dos 1700-1500 cm<sup>-1</sup> corresponde ao grupo funcional C=C de aromáticos, enquanto o intervalo de 900-750 cm<sup>-1</sup> corresponde ao grupo funcional do anel aromático.

Estes comprimentos de onda apresentam bandas de maior intensidade na base Tinta A no entanto também estão presentes na Tinta B.

Mais uma vez devido a semelhança existente na composição química das tintas não foi possível retirar nenhuma conclusão sobre a influência que esta possa ter nos problemas de aderência.

4.2.6. Curva de temperatura da estufa do Verniz

Na figura 56, esta representada a curva de temperatura da estufa do verniz. Nesta é possível observar que o tempo de cura do verniz não é cumprido, isto pode levar a problemas de aderência do revestimento.

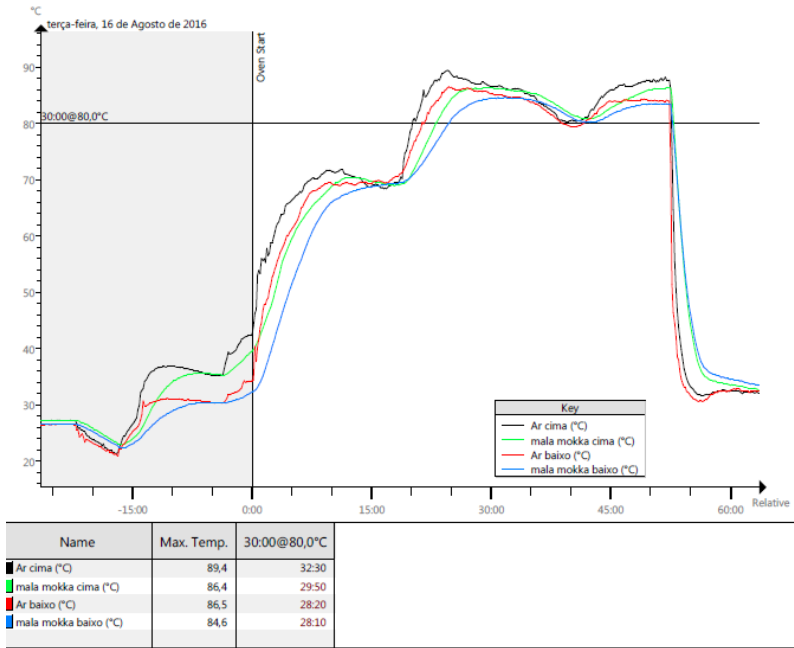


Figura 56-Curva de temperatura do forno do verniz.



## 5. Conclusões

Através da realização deste trabalho foi possível estudar e caracterizar dois revestimentos aplicados em substratos poliméricos, pintados na indústria automóvel.

Este trabalho abordou a metodologia 8D. Através da aplicação de ferramentas e técnicas da qualidade foi possível a identificação das principais não conformidades e a sugestão de ações corretivas e preventivas no projeto Projeto X.

Os diagramas de Pareto permitiram identificar as principais não conformidades (sujeidades, tonalidade, riscos devidos a descarga e falta de aderência do revestimento) e através das sessões de brainstorming foi possível desenhar os diagramas de Ishikawa e o preenchimento das tabelas 5W2H para cada um dos problemas.

Verificou-se que a elaboração de *Check Lists* para o controlo dos banhos bem como para a receção dos JIGS e a utilização de luvas por parte dos operadores da zona de carga são as principais soluções que devem ser colocadas em prática.

Através da medição da tensão superficial da poliamida 6 com 30% de reforço de vidro, foi possível verificar que esta não é a ideal para os primários que são utilizados nas duas bases (ambos estão abaixo dos 46 dyn/cm). Este facto permite concluir que as peças terão de ser flameadas de forma a aumentar a sua tensão superficial.

Verificou-se pelos ensaios normativos do projeto que as peças com a base Tinta B apresentam melhores resultados do que as amostras com a base Tinta A, uma vez que esta última apresenta falta de aderência no ensaio pelo método da quadrícula, resistência à humidade e condensação constante e ao ciclo de humidade fria nos esquemas em que as peças não foram flameadas.

Outra importante conclusão é a de que as amostras com a base Tinta A quando são flameadas melhoram significativamente a aderência do revestimento.

Com a medição das espessuras, realizadas pelo ensaio normativo, pelo SEM e pela observação das preparações metalográficas no MO, foi possível verificar que algumas espessuras das amostras não estavam de acordo com as fichas técnicas.

A cromatografia gasosa com espectrometria de massa acoplada, permitiu realizar um estudo comparativo da composição química das duas bases. Foi possível observar que o composto maioritário em ambas as tintas é o etanoato de butilo e que a zona onde existem maiores diferenças entre os dois cromatogramas é a dos 0 aos 5 minutos de tempo de retenção. Nesta zona verificou-se que a base Tinta B apresenta mais intensidade no pico do tolueno enquanto a base Tinta A tem maior intensidade no pico do ciclo hexano.

O ensaio do FTIR também foi utilizado para ter uma noção da composição química das tintas. Mais uma vez verificou-se que a composição é muito semelhante já que os espectros são muito idênticos. No entanto a base Tinta A apresenta bandas com maior intensidade nos comprimentos de onda de 1700-1500  $\text{cm}^{-1}$  (grupo funcional C=C de aromáticos) e 900-700  $\text{cm}^{-1}$  (grupo funcional do anel aromático).

Por último foi possível concluir, utilizando a curva de temperatura da estufa do verniz que o tempo de cura não é respeitado, o que pode levar a problemas de falta de aderência

## 6. Bibliografia

- [1] Informação disponível no site:  
<http://www.caetanocoatings.pt/?gclid=CI3p3LuL79ICFYefGwodNRkCNw>
- [2] Informação disponível no site:  
<http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2012/artigos/104468.pdf>
- [3] Schmeitzer, P. A. – Paint and Coatings – Applications and Corrosion Resistance, CRC Press, Estados Unidos da America, 2006.
- [4] Informação disponível no site:  
<http://www.netresiduos.com/content.aspx?menuid=134&eid=1230>
- [5] Informação disponível no site:  
[http://www.aguiaquimica.com/upload/tiny\\_mce/manual/manual\\_basico\\_sobre\\_tintas.pdf](http://www.aguiaquimica.com/upload/tiny_mce/manual/manual_basico_sobre_tintas.pdf)
- [6] Informação disponível no site:  
<http://www.crq4.org.br/downloads/tintas.pdf>
- [7] Informação disponível no site:  
[http://my.sosius.com/ww/transfer/default.aspx?nodepath=/ary\\_bon/ary\\_luiz\\_bon/artigos\\_e\\_publica%25C3%25A7%25C3%25B5es/serigrafia/a\\_cura.pdf&action=download&v=1](http://my.sosius.com/ww/transfer/default.aspx?nodepath=/ary_bon/ary_luiz_bon/artigos_e_publica%25C3%25A7%25C3%25B5es/serigrafia/a_cura.pdf&action=download&v=1)
- [8] Informação disponível no site:  
[http://www.cetecindustrial.com.br/equipamentos\\_para\\_pintura/pintura\\_eletrostatica.php](http://www.cetecindustrial.com.br/equipamentos_para_pintura/pintura_eletrostatica.php)
- [9] Informação disponível no site:  
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-70762012000200008](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762012000200008)
- [10] Informação disponível no site:  
<http://www.apifarre.es/es/portfolio-item/flamejat-de-peces-de-plastic/>
- [11] Informação disponível no site:  
<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n4/11.pdf>
- [12] Informação disponível no site:  
<http://www.aulas.e-agps.info/sinterizacao/laplace.pdf>
- [13] Dedavide, A.D; Gomes, C.I; Machado, G.-Microscopia eletrônica de varredura- Aplicações e preparação de amostras, ediPUCRS, Porto Alegre, 2007.
- [14] Informação disponível no site:  
[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2009/anais/arquivos/RE\\_0174\\_1240\\_03.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_0174_1240_03.pdf)
- [15] Informação disponível no site:  
[https://www.researchgate.net/publication/266178341\\_INTRODUCAO\\_AOS\\_PLASTICOS](https://www.researchgate.net/publication/266178341_INTRODUCAO_AOS_PLASTICOS)
- [16] H.S. Bunney, B.G., "The implementation of quality management tools and techniques: a study". The TQM Magazine, 1997. 9(3): p. 183-189.
- [17] Tague's, N.R., *The Quality Toolbox*. Second Edition ed. 2004: ASQ Quality Press.
- [18] Informação disponível no site:  
<http://www.dequi.eel.usp.br/~barcza/FerramentasDaQualidadeSEBRAE.pdf>
- [19] Action, P. *Controle Estatístico do Processo* 1997-2011 [2011 13 Junho]; Available from: <http://www.portalaction.com.br/content/cep-0>.

[20] Button, Sérgio; “Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados”; Campinas, 2016.

[21] Informação disponível no site:

<http://www.citisystems.com.br/7-ferramentas-da-qualidade/>.

[22] Informação disponível no site:

<http://proflogistica.blogspot.pt/2016/04/as-sete-ferramentas-da-qualidade.html>

[23] Informação disponível no site:

<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1072/Cap%2027%20Tens%C3%A3o%20Superficial.pdf?sequence=1>

[24] T. Nicolet and C. All, “Introduction to Fourier Transform Infrared Spectrometry,” *ThermoNicolet*, pp. 2–5, 2001.

[25] R. K. Sahu and S. Mordechai, “Fourier transform infrared spectroscopy in cancer detection.,” *Future oncology*, vol. 1, no. 5, pp. 635–47, Oct. 2005.

[26 ] Informação disponível no site:

<https://diegopiovesan.files.wordpress.com/2010/07/brainstorming.pdf>

[27] Informação disponível no site:

<http://www.novaescolademarketing.com.br/marketing/conheca-o-5w2h-uma-poderosa-ferramenta-de-gestao/>

[28] Informação disponível no site:

<http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/viewFile/1585/pdf>

[29] Larson, Alan; *Demystifying Six Sigma- A company Wide Approach to Continuous Improvement* ; AMACON; 2003.

[30] Informação disponível no site:

<https://pt.slideshare.net/Rogshare/metodologia-8d>

[31] Informação disponível no site:

<http://mundoqualidade.blogspot.pt/2010/07/metodologia-de-solucao-de-problemas-8d.html>

[32] Informação disponível no site:

<http://www.scielo.br/pdf/po/v24n6/a12v24n6.pdf>

[33] Informação disponível no site:

[http://www.npl.co.uk/upload/pdf/depc\\_mn\\_014\\_wettability.pdf](http://www.npl.co.uk/upload/pdf/depc_mn_014_wettability.pdf)

[34] Kwok, Daniel Y; Low-rate dynamic contact angles on poly[styrene-alt-(hexyl/10-carboxydecyl(90/10)meleimide] and the determination of solid surface tensions. University of Toronto; 1999.

[35] Informação disponível no site:

<http://cronicasdaciencia.blogspot.pt/2011/02/superhidrofobicidade.html>

[36] A. M. Cunha, *Manual do Projectista para Moldes de Injecção de Plásticos*, Marinha Grande: Centimfe, 2004.

[37] Informação disponível no site:

<http://www.demar.eel.usp.br/>

[38] Informação disponível no site:

[http://www.ebah.pt/content/ABAAAA\\_0AI/polimeros-pa-com-fibra-vidro](http://www.ebah.pt/content/ABAAAA_0AI/polimeros-pa-com-fibra-vidro)

- [39] Informação disponível no site:  
[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/produtos/download/aep\\_fep/chamada\\_publica\\_FEPprospec0311\\_Quimicos\\_Relat4\\_Poliamidas\\_v35.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/produtos/download/aep_fep/chamada_publica_FEPprospec0311_Quimicos_Relat4_Poliamidas_v35.pdf)
- [40] Informação disponível no site:  
[http://www.pofc.qren.pt/ResourcesUser/2013/Publicacoes/BanchMark\\_AE\\_ManualProducaoMaisLimpa\\_TratamentoSuperficies1.pdf](http://www.pofc.qren.pt/ResourcesUser/2013/Publicacoes/BanchMark_AE_ManualProducaoMaisLimpa_TratamentoSuperficies1.pdf)
- [41] Informação disponível no site:  
[http://www.scielo.br/pdf/po/v20n3/AOP\\_0518.pdf](http://www.scielo.br/pdf/po/v20n3/AOP_0518.pdf)
- [42] Informação disponível no site:  
<http://www.glasurit.com/pt/perda-de-aderencia>
- [43] Informação disponível no site:  
<http://61.188.205.38:8081/hxgcx/hcjs/Upload-Files/pdf/%E6%96%87%E7%8C%AE%E5%BA%93%E6%A8%A1%E5%9D%97%E6%B6%82%E6%96%99/Coatings%20Technology%20-%20Fundamentals,%20Testing,%20and%20Processing%20Techniques.pdf>
- [44] Norma GMW 14829;2006- **Tape Adhesion Test for Paint Finishes**
- [45] Informação disponível no site:  
[http://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/physical-properties/en/Intro\\_Adhesion.pdf](http://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/physical-properties/en/Intro_Adhesion.pdf)
- [46] Norma 15891;2013- **Solvent Rub Method for Determining Cure of Painted Metal or Plastic Substrates**
- [47] Norma 14729;2007- **Procedures for High Humidity Test**
- [48] Norma 14700;2007- **Stone Impact Resistance of Coatings**
- [49] Norma 14333;2009- **Resistance to Fuels of Exteriors Automotive Materials and Components**
- [50] Norma 14701;2011- **Resistance of Coatings to Chemical Etching and Distortion**
- [51] Informação disponível no site:  
<http://www.intertek.com/automotive/polymers-and-plastics-testing/chemical-resistance/>
- [52] Norma 14124;2012- **Automotive Environmental Cycles**
- [53] Norma ISO 2808- **Paints and varnishes — Determination of film thickness**
- [54] Informação disponível no site:  
[https://www.ggte.unicamp.br/ocw/sites/ocw/files/cursos/CienciasExatas/QO427/apostilas/gc\\_ms\\_aula\\_qo\\_427-MarcosEberlin.pdf](https://www.ggte.unicamp.br/ocw/sites/ocw/files/cursos/CienciasExatas/QO427/apostilas/gc_ms_aula_qo_427-MarcosEberlin.pdf)

## 7. Anexos

### Anexo A- Fichas técnicas das Tintas



#### HOJA TÉCNICA PRODUCTO

#### LABORATORIO PLASTIC COATINGS

PPG-Ibérica (Laguna de Duero, Valladolid)

Tlf. 983-410200 / Fax 983-410237

<b>Cli-ente:</b>	<b>EM-PRESA Y</b>	<b>Designación:</b>	<b>2K CLEARCOAT TKU2000CS</b>
<b>Referencia:</b>	<b>A-O520526-MF</b>	<b>Color:</b>	<b>TRANSPARENTE</b>
<b>Nº de Lote:</b>		<b>Fecha:</b>	<b>17/11/2014</b>

<b>Densidad (20°C):</b> 0,98 ± 0,02 g/cc	<b>Viscosidad Suministro:</b> 25-27 (CF4, 20°C)
<b>No Volátiles (3h-105°C):</b> 48 ± 2 %	<b>Finura North:</b> 7 -9
<b>No Volátiles (volumen) :</b> 43 ± 2 %	<b>Punto inflamación:</b> 21° - 55° C

#### PREPARACIÓN - APLICACIÓN - SECADO

Mezcla	Referencia	Relación en peso	Relación en volumen
<b>1<sup>er</sup> Componente</b>	A-O520526-MF	100	100 9.09 3.13*
<b>2<sup>do</sup> Componente</b>	A-O520505-PF	38	35.5 3.23 1
<b>Diluyente</b>	D-014	5-15	11 1
<b>Viscosidad Aplicación: 15-20 s (CF4, 20°C)</b>		<b>Espesor:</b> 30 - 40µ	
		<b>Horneado:</b> 30' @ 80°C	
		*(1 <sup>er</sup> Componente + Diluyente)	

<b>Método Aplicación:</b>	Aerográfico / ESTA
<b>Resistividad:</b> 800-1200 KΩ	

#### CONSEJOS

<p><b>Almacenaje</b></p> <p><math>T^{\circ} \text{ min.} + 5^{\circ} \text{ C}</math></p> <p><math>T^{\circ} \text{ máx.} + 35^{\circ} \text{ C}</math></p>	<p>+ Temperatura de utilización de cabina y aire de pulverización a <math>20^{\circ} \text{ C} \pm 2</math>.</p> <p>+ Temperatura de la pintura <math>20^{\circ} \text{ C} \pm 2</math>.</p> <p>+ Temperatura de las piezas a pintar <math>20^{\circ} \text{ C} \pm 2</math>.</p>	<p>+ Cuidado con la humedad</p> <p>Aparatos secos (deshidratador)</p> <p>Humedad relativa <math>\leq 80\%</math></p> <p>+ Volver a cerrar los bidones después de usarlos.</p> <p>+ Leer cuidadosamente las instrucciones de higiene y seguridad en la etiqueta.</p>
<p>+ Homogeneizar en cada extracción y después de la mezcla de los elementos.</p> <p>+ Agitar durante la utilización.</p>	<p><i>Los valores actuales expresados en la presente hoja de datos técnicos hacen referencia a los resultados obtenidos en la muestra de homologación utilizando la condiciones normales de nuestro laboratorio, y no deben ser adoptadas en ningún caso como especificación, debiendo realizar, el consumidor final, la comprobación en sus condiciones, de los parámetros aquí reflejados</i></p>	

Ref.: w:\...\calidad\formatos\ht2000.doc  
Ed. : junio 2000

**PPG-Ibérica (Laguna de Duero, Valladolid)**  
**Tlf. 983-410200 / Fax 983-410237**

**TECHNICAL DATA  
SHEET**

	<b>Customer:</b>	<b>Name:</b>	PRIMER 2K CONDUCTOR SNOWWHITE
	<b>Reference:</b> A-0520533-MF	<b>Co-lour:</b>	WHITE
	<b>Batch N°:</b>	<b>Date:</b>	09/05/2014

Mixture	Reference	% in weight	% in volumen
<b>1<sup>st</sup> Component</b>	PRIMER R559I401	100	
<b>2<sup>nd</sup> Component</b>	(KP2C009)	5	
<b>Solvent</b>	XPS90062 / XPS90063	30-40	
<b>Application Viscosity CF<sub>4</sub> (20°C):</b>		15 -16 s	<b>Recommended Thickness (μ):</b> 9 - 13 μ
<b>Application Method:</b>		Aerographi-cal/ESTA	<b>Cu-ring:</b> 8' - 10', room temperature
<b>Dry film resistivity (10 cm / 10 min):</b> 0-1500 KΩ			



AkzoNobel

Technical Data Sheet

3801639

ESP-639 2K-SBPR COND. GREY

Product family :  
OEM:

2 comp. PUR primer  
Severals

Customer: SEVERAL  
Site:

Date : 19/05/2011

#### Delivery conditions

Description	Value	Tolerance	Units	Method
Delivery viscosity F4 20°C AST	45	± 5	s	MA02C
Density 20 °C ISO2811-2	1,130	± 0,020	g/cm3	ISO 2811
Solid cont. 0,5h 150 °C ISO3251	35,0	± 2,0	%	ISO 3251
Solid Content Vol.	20,0	± 1,0	%	MQ04
Fineness	≤ 12,00		µm	ISO 1524

#### Mixing Ratio

Description	Primer	Hardener	Solvent
Code	3801639	8400154	8197120
Density	1,130	1,100	0,880
SC on weight	35,0	51,0	0
SC on volume	20,0	46,0	0
Mix. Ratio (weight)	100	7	40 - 45
Mix. Ratio (vol.)	100	7	51 - 58

#### Application conditions

Description	Value	Tolerance	Units	Method
Density 20 °C ISO2811-2	1,044	± 0,020	g/cm3	ISO 2811
Solid cont. 1h 120 °C ISO3251	25,8	± 1,0	%	ISO 3251
Solid Content Vol.	14,4	± 1,0	%	MQ04
Spray viscosity F4 20°C ASTM D	15	± 1	s	MA02C
Pot life ISO 9514	4,0		h	ML04

Remarks: VISC.PREVIA AGIT. 5' 800 RPM APPL. RX20 4.8 -1PAS.-SUS.ABS

#### Drying conditions (on part):

Flash-off: 9 ± 1 min to 25 °C

Drying: 30 min to 80 °C

**Storage stability:** 6 Months. Between 5 to 35 °C in original packaging to avoid direct sunlight and humidity.

Sales  
Service  
29/08/2012

This indications are resulting from our laboratory know-how. Akzo Nobel don't give warranty about the product behaviour without testover the original substrates. Handling and application of our paints must follow the indications of our Safety Data Sheets. We don't accept any claim if the product has been used unadequately.



ITX CELL INDUSTRIAL COATINGS  
PPG-Ibérica Sales & Services (Valladolid)



### FICHA TÉCNICA DE PRODUTO

<u>CLIENTE</u>	CAETANO COATINGS	<u>DESIGNAÇÃO</u>	1 K BASECOAT PULL ME OVER RED GG7 GM
<u>REFERENCIA</u>	XPB00899V-MF	<u>COR</u>	VERMELLO
		<u>DATA</u>	14-dic.-15

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO PRODUTO

<u>Densidade 20°C g/cc</u>	0,97	+/-0,02	<u>Viscosidade Fornecimento seq.CF4/23°C</u>	120 - 140
<u>Não Voláteis (3h-105°C) %</u>	29	+/- 1	<u>Ponto de Inflamação °C</u>	> 21
<u>Finura North</u>	8 - 9		<u>Brilho 60° %</u>	

### PREPARAÇÃO - APLICAÇÃO - ESTUFAGEM

<u>MISTURA</u>				
	<u>Referencia</u>		<u>% em Peso</u>	<u>% em Volume</u>
<u>Produto</u>	1 K B S PULL ME OVER		100	
<u>Catalizador</u>				
<u>Diluyente</u>	XPS90062/XPS90063-CD		80 - 85	
<u>Viscosidade Aplicação</u>	15 - 17 "	CF4/23°C	<u>Espessura recomendada</u>	18 - 20 µ
<u>Temp. Estufagem</u>	5' T° Flash		<u>Método de Aplicação</u>	Convencional ou Electroestática

### NOTAS

BAJO PODER DE CUBRICIÓN // APLICAR ESPESOR RECOMENDADO 18 - 20 µm.

JTX CELL INDUSTRIAL COATINGS  
PPG-Ibérica Sales & Services (Valladolid)



### FICHA TÉCNICA DE PRODUTO

<u>CLIENTE</u>	Caetano Coatings	<u>DESIGNAÇÃO</u>	1k Basecoat True Blue GDS Opel
<u>REFERENCIA</u>	XPB00840V-MF	<u>COR</u>	Azul
		<u>DATA</u>	9-mar.-15

### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA PRODUTO

<u>Densidade 20°C g/cc</u>	0,96	+/-0,02	<u>Viscosidade Fornecimento seq.</u>	CF4/20°C 110 - 140"
<u>Não Voláteis (3h-105°C) %</u>	26	+/- 1	<u>Ponto de Inflamação °C</u>	> 21
<u>Finura North</u>	7,5 - 8		<u>Brilho 60° %</u>	

### PREPARAÇÃO - APLICAÇÃO - ESTUFAGEM

<u>MISTURA</u>				
	<u>Referencia</u>		<u>% em Peso</u>	<u>% em Volume</u>
<u>Produto</u>	Bs. True blue gds		100	
<u>Catalizador</u>				
<u>Diluyente</u>	xps90062/xps90063		65 - 75	
<u>Viscosidade Aplicação</u>	18 - 20"	CF4/20°C	<u>Espessura recomendada</u>	16 - 18 µ
<u>Temp. Estufagem</u>	5' Tª flash		<u>Método de Aplicação</u>	Convencional ou Electroestática

### NOTAS

Anexo B

Diagramas de Pareto

Tabela dos dados da base Tinta B:

<b>Defeitos</b>	<b>Nº de defeitos (frequência)</b>	<b>% Frequências</b>	<b>Frequência acumulada</b>	<b>% Acumulada</b>
<b>Tonalidade</b>	161	42,1	161	42,1
<b>Sujidades</b>	133	34,8	294	77,0
<b>Escorridos</b>	20	5,2	314	82,2
<b>Falhas de equipamento</b>	18	4,7	332	86,9
<b>Gotas</b>	18	4,7	350	91,6
<b>Grumos Pó</b>	14	3,7	364	95,3
<b>Grumos líquidos</b>	6	1,6	370	96,9
<b>Riscos de descargas</b>	5	1,3	375	98,2
<b>Falta de verniz</b>	3	0,8	378	99,0
<b>Mancha</b>	2	0,5	380	99,5
<b>Pontos pretos</b>	2	0,5	382	100,0

Tabela dos dados da base Tinta A:

<b>Defeitos</b>	<b>Nº de defeitos (frequência)</b>	<b>% Frequências</b>	<b>Frequência acumulada</b>	<b>% Acumulada</b>
<b>Tonalidade</b>	108	32,1	108	32,1
<b>Sujidades</b>	102	30,4	210	62,5
<b>Riscos devidos a descarga</b>	40	11,9	250	74,4
<b>Escorrido</b>	25	7,4	275	81,8
<b>Falta de tinta</b>	15	4,5	290	86,3
<b>Falta de verniz</b>	9	2,7	299	89,0
<b>Gotas</b>	9	2,7	308	91,7
<b>Grumos líquidos</b>	8	2,4	316	94,0
<b>Casca de laranja</b>	7	2,1	323	96,1
<b>Baço</b>	4	1,2	327	97,3
<b>Batidas devidas a descarga</b>	4	1,2	331	98,5
<b>Cratera</b>	3	0,9	334	99,4
<b>Pulverização</b>	1	0,3	335	99,7
<b>Riscos/ Batidas devido ao processo</b>	1	0,3	336	100,0

## Estudo e Caracterização de Revestimentos Aplicados em Peças da Indústria Automóvel

### Tabelas dos Diagramas de Ishikawa

#### Sujidades:

Possíveis Causas relacionadas aos Materiais	
Descrição	Nota
Tipo de Material (plástico/alumínio)	5
Tensão superficial incorreta	2
Ser virgem ou despolido	2
<b>Média</b>	<b>3,0</b>

Possíveis Causas relacionadas aos Métodos	
Descrição	Nota
Controlo dos banhos	6
Paragens da linha	4
Processo de pintura	8
<b>Média</b>	<b>6,0</b>

Possíveis Causas relacionadas à Mão-de-obra	
Descrição	Nota
Colocação das peças nos JIGS	5
Controlo dos banhos	6
Programação dos programas de pintura	4
Retosques manuais	1
<b>Média</b>	<b>4,0</b>

Possíveis Causas relacionadas às Máquinas (ou Equipamentos)	
Descrição	Nota
Programação dos programas de pintura	3
Bombas/permutores defeituosos	4
JIGS defeituosos	6
<b>Média</b>	<b>4,3</b>

Possíveis Causas relacionadas ao Meio Ambiente	
Descrição	Nota
Temperatura	6
Humidade	4
Ambiente envolvente	8
<b>Média</b>	<b>6,0</b>

Possíveis Causas relacionadas à Medida	
Descrição	Nota
Erros do equipamento	1
Erros na avaliação da qualidade das peças	3
<b>Média</b>	<b>2,0</b>

#### Tonalidade:

Possíveis Causas relacionadas aos Materiais	
Descrição	Nota
<b>Média</b>	

Possíveis Causas relacionadas aos Métodos	
Descrição	Nota
Processo de pintura	8
<b>Média</b>	<b>8,0</b>

Possíveis Causas relacionadas à Mão-de-obra	
Descrição	Nota
Programação dos programas de pintura	6
<b>Média</b>	<b>6,0</b>

Possíveis Causas relacionadas às Máquinas (ou Equipamentos)	
Descrição	Nota
Robots	4
Pistolas	4
<b>Média</b>	<b>4,0</b>

Possíveis Causas relacionadas ao Meio Ambiente	
Descrição	Nota
Temperatura	6
<b>Média</b>	<b>6,0</b>

Possíveis Causas relacionadas à Medida	
Descrição	Nota
Erros na avaliação da qualidade das peças	6
<b>Média</b>	<b>6,0</b>

## Estudo e Caracterização de Revestimentos Aplicados em Peças da Indústria Automóvel

### Riscos devidos a descarga:

Possíveis Causas relacionadas aos Materiais	
Descrição	Nota
<b>Média</b>	

Possíveis Causas relacionadas aos Métodos	
Descrição	Nota
<b>Média</b>	

Possíveis Causas relacionadas à Mão-de-obra	
Descrição	Nota
Erros dos operadores da descarga	10
<b>Média</b>	10,0

Possíveis Causas relacionadas às Máquinas (ou Equipamentos)	
Descrição	Nota
JIGS defeituosos	6
<b>Média</b>	6,0

Possíveis Causas relacionadas ao Meio Ambiente	
Descrição	Nota
<b>Média</b>	

Possíveis Causas relacionadas à Medida	
Descrição	Nota
<b>Média</b>	

### Falta de aderência do revestimento

Possíveis Causas relacionadas aos Materiais	
Descrição	Nota
Tensão superficial do material	4
<b>Média</b>	4,0

Possíveis Causas relacionadas aos Métodos	
Descrição	Nota
Controlo dos banhos	6
Processo de Pintura	6
Cura/secagem	6
<b>Média</b>	6,0


Possíveis Causas relacionadas à Mão-de-obra	
Descrição	Nota
Controlo dos banhos	5
Programação dos programas de pintura	6
<b>Média</b>	5,5

Possíveis Causas relacionadas às Máquinas (ou Equipamentos)	
Descrição	Nota
JIGS defeituosos	5
<b>Média</b>	5,0


Possíveis Causas relacionadas ao Meio Ambiente	
Descrição	Nota
<b>Média</b>	

Possíveis Causas relacionadas à Medida	
Descrição	Nota
Erros do operador(pintura/banhos)	5
<b>Média</b>	5,0

Check List dos Banhos:

	<p>Check List de Controlo dos banhos da Linha 8</p>	<p>Tipo de material: Plástico Virgem</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 60%;"> <p>1. Desligar o pré-desengorduramento. Nome do operador: Hora:</p> <p>2. Desligar o Desengorduramento. Nome do operador: Hora:</p> <p>3. Desligar a Desoxidação 1. Nome do operador: Hora:</p> <p>4. Ligar a Desoxidação 2. Nome do operador: Hora:</p> <p>5. Desligar o banho de Silanos. Nome do operador: Hora:</p> </div> <div style="width: 35%; text-align: center;"> <input data-bbox="887 483 959 560" style="width: 40px; height: 40px; border: 1px solid black;"/>   <input data-bbox="882 678 954 754" style="width: 40px; height: 40px; border: 1px solid black;"/>   <input data-bbox="882 862 954 938" style="width: 40px; height: 40px; border: 1px solid black;"/>   <input data-bbox="884 1039 956 1115" style="width: 40px; height: 40px; border: 1px solid black;"/>   <input data-bbox="884 1227 956 1303" style="width: 40px; height: 40px; border: 1px solid black;"/> </div> </div>		


Check List dos JIGS:

	Check List da receção dos JIGS da Linha 8	Data:
<div><div><div>1. Quantidade da Ordem de entrega esta correta.</div><div>Nome do responsável:</div><div>Hora:</div></div><div><input data-bbox="1034 582 1104 654" type="checkbox"/></div></div> <div><div><div>2. Verificar se há zonas empenadas.</div><div>Nome do responsável:</div><div>Hora:</div></div><div><input data-bbox="882 759 952 831" type="checkbox"/></div></div> <div><div><div>3. Verificar se há zonas deformadas.</div><div>Nome do responsável:</div><div>Hora:</div></div><div><input data-bbox="882 943 952 1014" type="checkbox"/></div></div> <div><div><div>4. Verificar o encaixe das peças em todas as zonas de encaixe.</div><div>Nome do responsável:</div><div>Hora:</div></div><div><input data-bbox="1190 1122 1260 1193" type="checkbox"/></div></div> <div><div><div>5. Se estiver tudo OK, falar com a manutenção para testar a esquadria dos JIGS.</div><div>Nome do responsável:</div><div>Hora:</div></div><div><input data-bbox="1345 1301 1415 1373" type="checkbox"/></div></div>		




Relatórios 8D


Relatório 8D para a falta de aderência do revestimento

 <b>RELATÓRIO - G 8D / G 8D - REPORT</b>			
Nº Number	<input checked="" type="checkbox"/> Cliente/ Client	Data Emissão/ Issue Date:	Data Revisão/ Revision:
Sector/ Area	<input type="checkbox"/> Fornecedor/ Supplier	Projecto/ Project:	Peça/ Part Name:
Ref./ DocRef			
<b>D0 - Identificação do problema / Containment Action</b>			
Efeito / Effect: Falhas de aderência identificadas no laboratório			
Acção de Emergência / Emergency action		Result	Dat.
Verificação / Verification:			
<b>D1 - Grupo de Trabalho / Analysis Team:</b>		<b>D2 - Descrição do Problema / Concern Details</b>	
A equipa foi formada pela responsável do laboratório, técnica do laboratório, estagiário do laboratório, responsável da qualidade,		Falta de aderência no revestimento das peças do projeto Opel Mokka	
<b>D3 - Acções de Contenção / Containment Action</b>		Eficiênc.	Dat.
Criação de uma Check List para o controlo dos banhos.			
<b>D4 - Definição das Causas Raiz / Definition of Root Causes</b>		%Contrib.	
As peças passaram nos banhos errados			
<b>D5 - Definição das Acções Correctivas / Correc. Actions Definition</b>		Validação	Dat.
Uso da check list por parte dos operadores de banhos			
<b>D6 - Impl. das Acções Correctivas / Correc. Actions Implementation</b>		Eficiênc.	Dat.
Implementação da check List na documentação diária dos operadores de banho.			
<b>D7 - Acções Preventivas / Preventive Actions</b>		Dat.	Resp.
Necessário rever documentos? PFMEA ___ Plano Controlo ___ Fluxo Processo ___			
<b>D8 - Avaliação de eficácia / Effectiveness Evaluation</b>		Dat.	Resp.
Data de Encer./ Close Date		Lider/ Team Leader	
		Qualidade / Quality	

## Relatório 8D para as sujidades

 <b>RELATÓRIO - G 8D / G 8D - REPORT</b>			
Nº/Number	Cliente / Client	Data Emissão / Issue Date:	Data Revisão / Revision C
Sector/ Area	<input type="checkbox"/> Fornecedor/ Supplier	Projecto/ Project	Peça / Part Name:
Ref./ Doc Ref			
<b>D0 - Identificação do problema / Containment Action</b>			
Efeito / Effect: Falhas de aderência identificadas no laboratório			
Acção de Emergência / Emergency action		Result	Date
Verificação / Verification:			
<b>D1 - Grupo de Trabalho / Analysis Team: D2 - Descrição do Problema / Concern Details</b>			
A equipa foi formada pela responsável do laboratório, técnico do laboratório, estagiário do laboratório, responsável da qualidade, Sujidades no revestimento das peças do projeto Opel Mokka			
<b>D3 - Acções de Contenção / Containment Action</b>		Eficieñc.	Date
Uso de luvas na zona de carga dos JIGS.			
<b>D4 - Definição das Causas Raiz / Definition of Root Causes</b>		% Contrib.	
Colocação das peças nos JIGS			
<b>D5 - Definição das Acções Correctivas / Correc. Actions Definition</b>		Validação	Date
Uso de luvas por parte dos colaboradores que montam as peças nos JIGS			
<b>D6 - Impl. das Acções Correctivas / Correc. Actions Implementation</b>		Eficieñc.	Date
Implementação do uso de luvas na zona de carga dos JIGS			
<b>D7 - Acções Preventivas / Preventive Actions</b>		Date	Resp.
Necessário rever documentos? PFMEA ___ Plano Controlo ___ Fluxo Processo ___			
<b>D8 - Avaliação de eficácia / Effectiveness Evaluation</b>		Date	Resp.
		—	—
Data de Encer./Close Date		Lider/Team Leader	Qualidade / Quality

## Relatório 8D para os riscos devidos a descarga

 <b>RELATÓRIO - G 8D / G 8D - REPORT</b>				
Nº/ Number	<input checked="" type="checkbox"/> Cliente/ Client	Data Emissão/ Issue Date:	Data Revisão/ Revision L	
Sector/ Area	<input type="checkbox"/> Fornecedor/ Supplier	Projecto/ Project:	Peça/ Part Name:	
Ref./ Doc Ref				
<b>D0 - Identificação do problema / Containment Action</b>				
Efeito / Effect: Falhas de aderência identificadas no laboratório				
Acção de Emergência / Emergency action			Result.	Dat.
Verificação / Verification:				
<b>D1 - Grupo de Trabalho/ Analysis Team:</b>		<b>D2 - Descrição do Problema / Concern Details</b>		
A equipa foi formada pela responsável do laboratório, técnica do laboratório, estagiário do laboratório, responsável da qualidade,		Riscos devidos à descarga no revestimento das peças do projeto Opel Mokka		
<b>D3 - Acções de Contenção / Containment Action</b>			Eficienc.	Dat.
Criação de uma Check List para a receção dos JIGS.				
<b>D4 - Definição das Causas Raiz / Definition of Root Causes</b>			% Contrib.	
Colocação das peças nos JIGS				
<b>D5 - Definição das Acções Correctivas / Correc. Actions Definition</b>			Validação	Dat.
Uso da check list por parte dos responsáveis que recebem os JIGS de forma a garantir a qualidade dos mesmos				
<b>D6 - Impl. das Acções Correctivas / Correc. Actions Implementation</b>			Eficienc.	Dat.
Implementação da check List na documentação diária da receção dos JIGS				
<b>D7 - Acções Preventivas / Preventive Actions</b>			Dat.	Resp.
Necessário rever documentos? PFMEA ____ Plano Controlo ____ Fluxo Processo ____				
<b>D8 - Avaliação de eficácia / Effectiveness Evaluation</b>			Dat.	Resp.
			---	---
Data de Encer. / Close Date		Lider/ Team Leader	Qualidade / Quality	